

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

**Efektivní zhodnocení využívané nástrojové
základny pro CNC obrábění**

**Effective evaluation of Used Tool Base
for CNC Machining**

Student:	Jan Souček
Vedoucí bakalářské práce:	prof.Dr.Ing. Josef Brychta

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Souček**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Efektivní zhodnocení využívané nástrojové základny pro CNC obrábění**
Effective Evaluation of Used Tool Base for CNC Machining

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Charakteristika výroby, strojní a nástrojové základny.
3. Problematika hrubování, zbytkového dohrubování a dokončovacího frézování.
4. Zhodnocení technologie obrábění včetně stanovení vybraných požadavků.
4. Teoretický rozbor a průběh navrženého experimentu.
5. Vyhodnocení experimentu a návrh efektivního využití nástrojové základny.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J.; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 13.5.2013


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 13.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Souček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nad Školou, č.p. 435

Jablonec nad Orlicí, 561 64

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SOUČEK J.: *Efektivní zhodnocení využívané nástrojové základny pro CNC obrábění : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 67 s. Vedoucí práce: prof.Dr.Ing. Josef BRYCHTA

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením stávajících nástrojů pro CNC obrábění v podniku, jenž vyrábí vstřikovací formy na plastové výlisky. Obrábění zde porovnávanými nástroji zabírá podstatnou část z celkového výrobního času. Proto je stěžejní ujasnit si z teoretického a praktického hlediska zásadní aspekty tohoto procesu. Cílem práce jsem stanovil nalezení optimálního použití hodnocených nástrojů ve výrobě, dále nalezení výhod a nevýhod konvenčních fréz a fréz pohybujících se vyššími posuvy a to jak z technologického, fyzikálního a ekonomického hlediska bez přihlédnutí na reklamní strategie prodejců nástrojů. Úvodní část popisuje charakteristiku výroby a strojní park v hodnoceném podniku, dále zákonitosti samotného obrábění a specifika řešených nástrojů. Další část řeší testové obrábění, realizované za provozu nástrojárny v reálném čase na dílcích určených pro výrobu. Dále zkoumá následné efektivní využití použitých nástrojů, či jejich nahrazení výhodnější variantou. Závěr práce je zhodnocení výstupních hodnot z testu obrábění a vyčlenění poznatků, jež pomohou správně volit nástroj k určité strategii obrábění, obrobku a stroji s přihlédnutím na vedlejší vlivy při obrábění. To vše přispěje ke zkrácení výrobních časů a tudíž i k snížení nákladů na výrobu.

ANOTATION OF THESIS

SOUČEK J.: *Effective evaluation of Used Tool Base for CNC Machining : Bachelor Thesis*.
Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering
Department of Working and Assembly, 2013, 67 p. Thesis head: prof.Dr.Ing. Josef BRYCHTA

The bachelor thesis deals with evaluation of present tools for CNC working in an enterprise manufacturing injections moulds for plastics. Machining using the compared tools here takes up a significant part of the total production time. Therefore it is primary to define fundamental aspects of this process both from the theoretical and practical point of view. The aim of the thesis is to find optimal use of evaluated tools in production and to find advantages and disadvantages of conventional milling machines and milling machines operating with higher travels through technological, physical and economic view regardless marketing strategies of tool sellers. The introduction describes manufacturing characteristics and the machine park in the evaluated enterprise, rules of machining itself and specifics of tools dealt with. The next part is devoted to test machining realized during operation of the tool shop in real time on parts intended to be manufactured. It also inspects further effective use of tools or a more proper use of another option. The conclusion is the evaluation of output values from machining test and determination of findings that may assist in selecting the right tool for a specific strategy of machining, workpiece and machine with regard to secondary influence on machining. All of this contributes to shortening time of manufacturing and thus reducing the production costs.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých značek a symbolů	8
1. Úvod do problematiky	9
2. Teoretický rozbor, definice a pojmy obrábění	10
3. Řezný nástroj	11
4. Tvorba třísky při obrábění	14
5. Řezný odpor a síly řezání	16
6. Teplo při obrábění	18
7. Životnost a opotřebení nástroje	21
8. Rozbor a aktuálnost řešení stávající technologie obrábění	24
8.1 Popis současného stavu hrubovacího a dokončovacího obrábění	24
8.2 Popis a charakteristika nástrojů	25
8.3 Popis a charakteristika strojů	30
8.4 Materiál obrobků	32
9. Postupy měření a hodnocení operací obrábění	33
9.1 Měření drsnosti povrchu	33
9.2 Měření teploty	35
9.3 Měření rozměrů	36
9.4 Měření opotřebení nástroje	37
9.5 Hodnocení zatížení stroje vlivem řezného odporu	37
9.6 Hodnocení třísky	38
10. Průběh navrženého experimentu	39
10.1 Hrubovací operace	39
10.1.1 Hrubování rámu formy	39
10.1.2 Hrubování vložky formy za měkka	43
10.1.3 Hrubování vložky formy po kalení	45
10.1.4 Obrábění plochy desky formy	46
10.2 Dokončovací operace	47
11. Vyhodnocení zkoušek obrábění	49
11.1 Časy obrábění	49
11.2 Drsnost povrchu a rozměrová přesnost	54
11.3 Teplo vzniklé při frézování	58
11.4. Hodnocení třísky	60
11.5 Silové zatížení stroje a opotřebení	61
11.6 Ekonomické hledisko	63
12. Závěr	65
13. Seznam použité literatury	66

Seznam použitých značek a symbolů

značka	význam	jednotka
a_p	hloubka řezu	[mm]
v_f	rychlost posuvu	[mm/min ⁻¹]
v_c	řezná rychlost	[m/min ⁻¹]
z	počet břitů frézy	[-]
f_z	posuv na zub	[mm]
a_e	šířka záběru nástroje	[mm]
n	otáčky nástroje	[min ⁻¹]
R_a	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
R_z	největší výška profilu	[μm]
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba	[-]
CNC	Computerized Numerical Control – počítačem číslicově řízený stroj	[-]
HRC	tvrdost materiálu dle Rockwella	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DIN	Deutsches Institut für Normung – německý ústav pro průmyslovou normalizaci	[-]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
T	teplota	°C
R	řezný odpor	[N]
Kč	koruna česká	[-]
Obr.	obrázek	[-]
Tab.	tabulka	[-]
t	čas obrábění	[min]
P, M, K, N, S, H	označení druhu řezného materiálu podle normy ISO 513:2002	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
Aα	hřbet nástroje	[-]
Aγ	čelo nástroje	[-]
F	řezná síla	[N]
F_c	řezná tangenciální síla	[N]
RO	rychlořezná ocel	[-]
3D tvar	prostorový tvar	[-]
ESU	jakost oceli pro práci za tepla se speciálním tepelným zpracováním	[-]

1. Úvod do problematiky

Výroba forem pro vstřikování vylisků z plastu byla vždy ve strojírenském průmyslu specifickým oborem. Na jedné straně vystupuje složitá výroba kalených tvarových dílů vyžadující široký strojový park s odbornou obsluhou pracující v kusové výrobě a dále ruční montážní pracoviště se zkušenými nástrojaři pro výrobu nových forem a údržbu forem pracujících v sériovém cyklu. Druhou stranu celku tvoří méně viditelná část výrobního procesu, na kterou předešlá ryze výrobní část navazuje. Jde o obchodní oddělení spolupracující s konstrukční sekci na převzetí nové zakázky pro výrobu. Plynulost schvalování a přípravu zakázky ovlivňuje mnoho negativních vlivů. Tyto níže popsané vlivy, přestože neprospějí zadavateli ani vykonavateli projektu, narušují myslím nejen provoz firmy Formplast Purkert s.r.o. Jablonné nad Orlicí pro kterou jsem bakalářskou práci zpracoval.

Zadání projektu zadavatelem představuje výkres finálního vylisku. Výroba formy pro díl je naceněna a časově nabídnuta výrobcem. Zde vstupuje první vliv, v podobě složitě odhadnutelné náročnosti a ceny nástroje z 2D výkresu. Druhý vliv přichází ze strany kapacity nástrojárny. Nabídka výrobce formy je zpracována v odlišné době, než je zakázka zákazníkem schválena. Kapacitní situace firmy může být v této době již odlišná a přetížená. Zakázka je schválena, rozbíhá se schválený čas pro výrobu nástroje. Konstrukce mnohdy se zpožděním obdrží 3D model dílu, ze kterého připraví základní zaformování vylisku v tvarových vložkách polovin formy. To prochází schvalováním, při kterém zadavatel mění části tvaru, koriguje rozměry a mění polohu dělicí roviny vylisku ve formě. Změny probíhají i v průběhu samotné výroby dílců. Tento technický vývoj dílu realizovaný na nástroji vyráběném pro sériovou výrobu, probíhá mnohdy v několika kolech. Mnoha týdenní zpoždění není, ale většinou zohledněno v časovém fondu pro výrobu, i zadavatel musí plnit závazný časový plán konečného odběratele vylisku (v řešeném případě výrobcí automobilů). Následkem všech výše popsaných vlivů společně s výrobou zmetkových dílů dochází ke zpoždění dokončení formy, nebo k finanční ztrátě ze samotné výroby.

Současná tržní situace nedává výrobním podnikům mnoho prostoru pro cenové a časové vyjednávání se stabilně zavedenými zadavatelskými nevýrobními společnostmi. Boj o zakázky, udržení stěžejního obchodního partnera a nezbytná konkurenceschopnost nutí výrobní podnik k mnohdy méně výhodným obchodům.

Zvýšení kapacity výroby a tím snížení rizik nemusí vždy znamenat drahé rozšíření a modernizaci strojového, nástrojového parku, či navýšení pracovních směn. Základem je zproduktivnit stávající výrobu a využít výrobní rezervy. Optimálnější využití stávající nástrojové základny pro CNC frézování je zpracováno v této bakalářské práci.

2. Teoretický rozbor, definice a pojmy obrábění

Frézování je výkonný technologický proces, kterým přetváříme díl určený k obrobení. Výsledkem jsou povrchy určitého tvaru, rozměrů a jakosti. Materiál je deformován a odřezáván břitem rotujícího nástroje ve formě třísky. Tříska je oddělována přerušovaným řezem jednotlivých zubů nástroje [1].

Pohyby při frézování [2]

Hlavní pohyb mezi nástrojem a obrobkem je rotační. Stroj přenáší pohyb na nástroj-frézu.

Vedlejší pohyb je strojový přímočarý posuv obrobku.

Výsledný řezný pohyb získáme vektorovým součtem hlavního a vedlejšího pohybu.

Řezná rychlost v_c [m.min⁻¹] definujeme jako okamžitou rychlost hlavního rotačního pohybu bodu břitu frézy k bodu obrobku. Zjednodušeně obvodová rychlost frézy.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad D\text{-průměr nástroje [mm],} \quad n\text{-otáčky nástroje [min}^{-1}]$$

Posuvová rychlost v_f – okamžitá rychlost vedlejšího pohybu posuvu v bodě břitu frézy vztaženou k bodu obrobku.

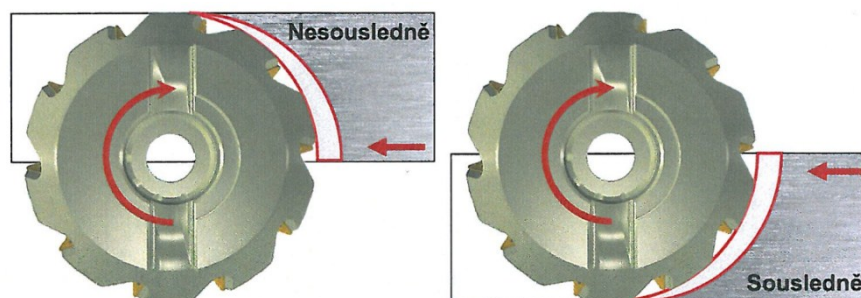
$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad z\text{-počet zubů nástroje [-],} \quad f_n = \text{posuv na otáčku [mm]}$$

Posuv na zub f_z [mm] je délka posuvu obrobku za dobu záběru zubu v materiálu.

Šířka záběru a_p [mm] je hloubka řezu nástroje obrobkem.

Přísuv – pohyb frézy, nebo obrobku na požadovanou šířku záběru a_p .

Dle polohy osy frézy k ploše obrobku dělíme frézování na čelní a válcové. Válcové frézování kdy fréza rotuje proti směru posuvu obrobku se nazývá nesousledné. Sousledné frézování nastává při rotaci frézy ve stejném směru jako je posuv obrobku [2].



Obr. 2.1 Poloha nástroje při frézování [3].

Tab. 2.1 Výhody a nevýhody sousledného a nesousledného frézování [2].

Typ frézování	Výhody	Nevýhody
Nesousledné frézování	<ul style="list-style-type: none"> - obrobky s hrubou kůrou, nestabilní obrobky - pro tvrdé řezné materiály - nižší opotřebení stroje 	<ul style="list-style-type: none"> - pro starší stroje (nestabilní podmínky, vůle v pohybu stolu) - snížená jakost plochy obrobku
Sousledné frézování	<ul style="list-style-type: none"> - vyšší životnost nástroje - třísky zůstávají za nástrojem - bezpečné upnutí obrobku - nižší řezný výkon - nižší sklon ke kmitání - vyšší kvalita povrchu - použití vyšších hodnot a_p a v_f 	<ul style="list-style-type: none"> - zuby jsou při záběru silově zatíženy - obtížnější obrábění tvrdého a znečištěného materiálu

3. Řezný nástroj

Frézovací nástroj, v podobě jakéhokoli typu frézy, umožňuje svou pracovní částí břit průběh řezného procesu. Břitem vniká do obrobku a řeznou hranou odřezává materiál. Samotný nástroj prochází náročnou geometrickou konstrukcí. Nástroje se skládají z řezné a upínací části. Řeznou část u frézy reprezentují dva a více břitů. Jedná se o část tvaru klínu, jež vniká do materiálu obrobku. Každý břit nástroje je ohraničen plochami a hranami hlavního a vedlejšího ostří [2].

Prvky břitu [2]

Ostří S je řezná hrana břitu, která odděluje materiál třísky a vytváří přechodovou plochu obrobku. Vedlejší ostří S' kopíruje a kalibruje obrobenou plochu.

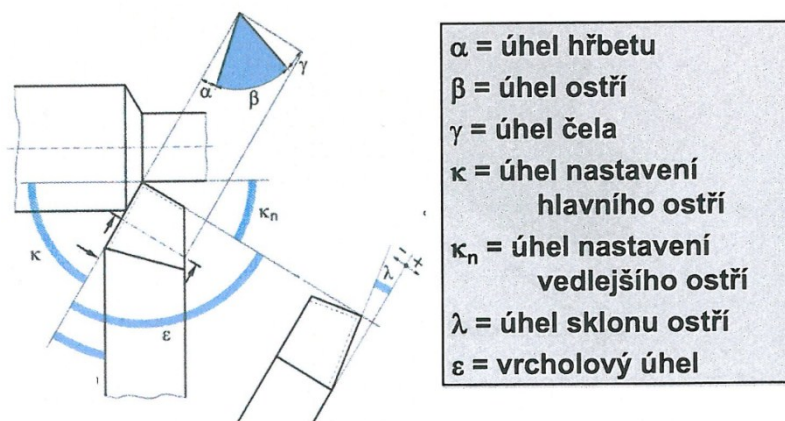
Hřbet nástroje A α je plocha směřující k přechodové ploše obráběného dílce. Vedlejší hřbet A α' se přiklání k již obrobenému povrchu.

Čelo nástroje A γ je plocha po které po odříznutí části materiálu odchází tříska z řezu.

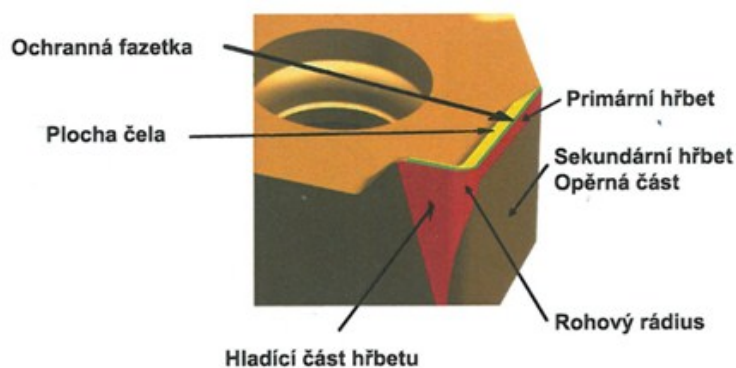
Špička břitu je prvek spojnice hlavního a vedlejšího ostří.

Utvařec třísky je vytvořen na čele břitu nástroje. Slouží k lámání a optimálnímu odvodu třísky z řezu.

Nástrojové a pracovní parametry prvků bříty jsou definovány úhly v příslušných rovinách.

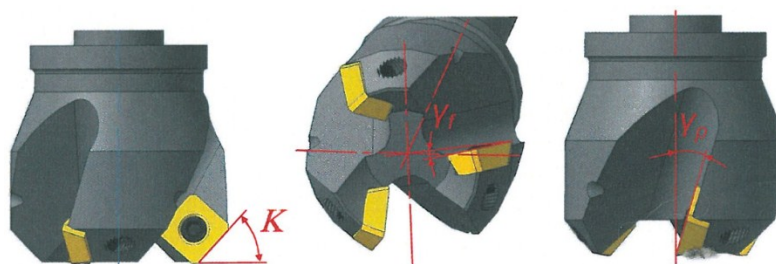


Obr. 3.1 Řezné úhly nástroje [3].



Obr. 3.2 Konfigurace ostří VBD [3].

Geometrie opěrného lůžka tělesa frézy pro usazení destičky udává polohu VBD a úhlové nastavení pro obrábění a vstup VBD do materiálu. Rozlišujeme geometrii pozitivní, negativní a jejich kombinace v axiálním a radiálním úhlu čela VBD.



Geometrie tělesa frézy = poloha ostří břitové destičky

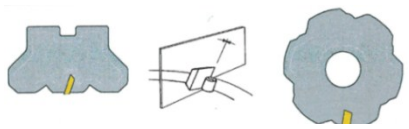
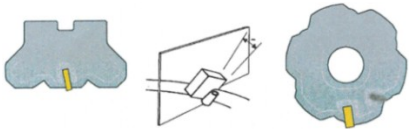
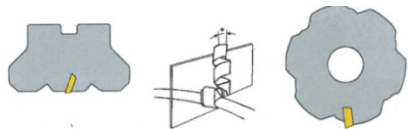
- Úhel nastavení ostří
- Axiální úhel čela
- Radiální úhel čela






Efektivní úhel čela

Obr. 3.3 Poloha ostří břitové destičky [3].

Tab. 3.1 Geometrie tělesa frézy – poloha VBD [3].

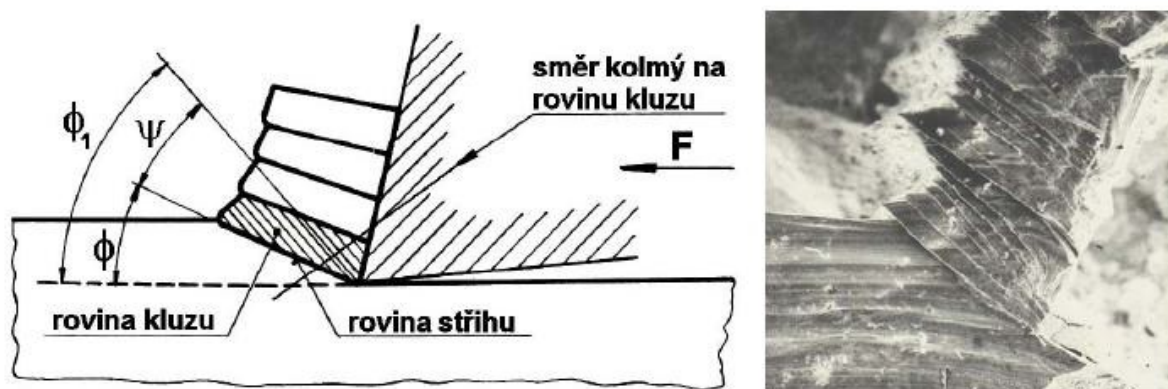
Geometrie tělesa frézy	Výhody	Nevýhody
<p>Pozitivně - pozitivní</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - klidný řez - dobrý odvod třísek - dobrá kvalita povrchu 	<ul style="list-style-type: none"> - nižší pevnost ostří - problematická vstupní fáze - tendence k natahování obrobku směrem od stolu stroje - použití jednostranné destičky
<p>Negativně - negativní</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - pevnost ostří - produktivita - tendence k odtlačování obrobku směrem proti stolu stroje - použití oboustranné destičky 	<ul style="list-style-type: none"> - vyšší řezné síly - obtížnější odvod třísek
<p>Pozitivně - negativní</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - dobrý odvod třísek - vhodně působící řezné síly - široký rozsah využití 	<ul style="list-style-type: none"> - použití jednostranné destičky

	Negativní čelo, vhodné pro oceli, ocelové slitiny, nerezavějící oceli a litinu.
	Pozitivní čelo, vhodné pro měkké materiály a superslitiny.
	Neutrální čelo, vhodné pro závitovací, zapichovací, kopírovací a tvářecí nástroje.

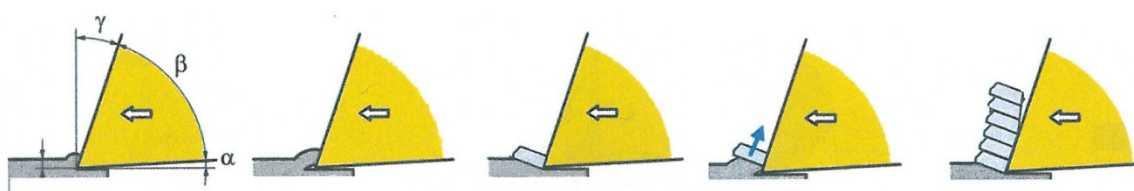
Obr. 3.4 Vhodnost použití geometrie VBD [3].

4. Tvorba třísky při obrábění

Při zjednodušeném ortogonálním obrábění je řezný klín nástroje vtlačován do objemu materiálu, který je pak z obrobku odebírán ve formě třísky. Tříska vzniká za působení elastické a plastické deformace na povrch obrobku. Pružně deformační působení ovlivňuje celý objem materiálu, plastická deformace se týká pouze oblasti řezání. Rostoucí smyková napětí se transformují do plastické deformace materiálu obrobku před řezným břitem, při níž dochází k posunu vrstev materiálu v kluzných rovinách pod úhlem ϕ_1 . Řez materiálu trvá, zvyšuje se plastická deformace, vrstvy materiálu jsou pěchovány a posouvány v kolmém směru ke kluzným rovinám. Následuje plastický lom z kluzné síly, nebo křehký lom z síly normálové. Dalším pohybem nástroje docílíme zvýšeného napětí v materiálu až do hodnoty vyšší než mez stříhu materiálu obrobku. Výsledkem je odříznutá tříška pod úhlem stříhu ϕ a nový obrobený povrch materiálu. Materiál je deformací zpevněn a po ztrátě plasticity materiálu dojde k přeměně zpevnění na materiálový kluz a dále k tvorbě třísky [2].



Obr. 4.1 Vznik třísky [2].



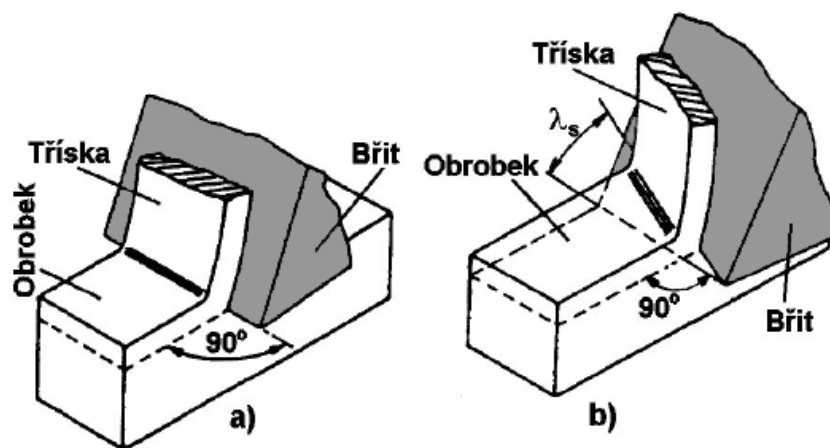
Obr. 4.2 Utváření třísky [2].

Důležitá a nutná je převaha frézování podpurných fyzikálních vlastností materiálu řezného břitu nad materiálem obrobku. Teplota materiálu třísky roste úměrně s řeznou rychlostí, rychlostí stříhu třísky a velikostí tření o čelo nástroje. Ve smykové rovině dochází k ztvrdnutí třísky vlivem mechanického zpevnění a tudíž se zvyšuje její odpor ve stříhu a ohybu [2].

V praxi rozlišujeme dva typy řezání:

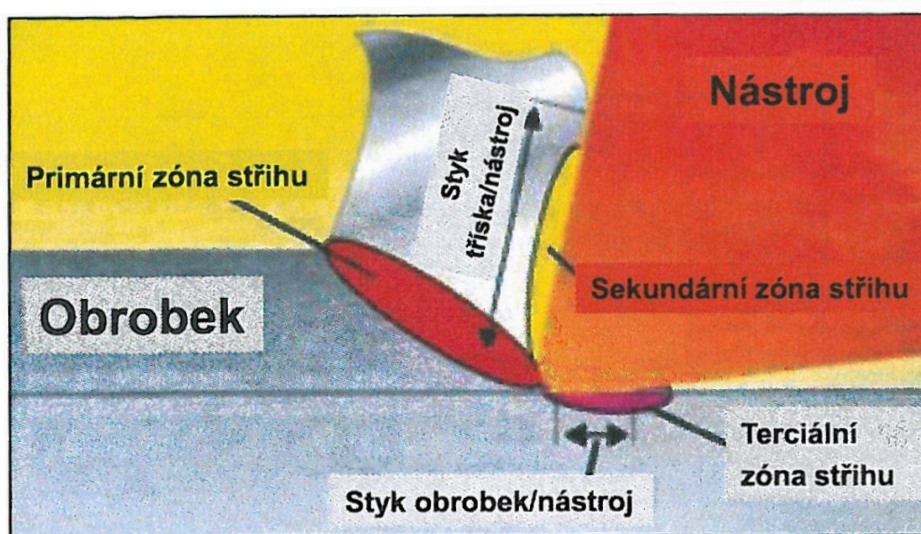
Ortogonální řezání - ostří odřezává materiál kolmo na směr řezného pohybu. Rovinný proces (obrábění nástrojem s přímými zuby, zapichování)

Obecné řezání - prostorový proces. Ostří je v řezu skloněno pod úhlem (vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici) [2].



Obr. 4.3 Realizace řezného procesu, a) ortogonální řezání, b) obecné řezání [2].


Elastické a plastické deformace při řezání břitem nástroje se odehrávají v třech oblastech. **Primární zóna stříhu** - oblast před břitem nástroje. **Sekundární oblast stříhu** - ve materiálových vrstvách styku čela nástroje a třísky. **Terciální zóna stříhu** - v povrchové obrobene vrstvě [2].



Obr. 4.4 Oblasti plastických deformací v zóně řezání [3].

Odříznutá tříska je vždy obraz nástroje, řezných podmínek, materiálu obrobku a soustavy obrábění.

Tab. 4.1 Faktory ovlivňující utváření třísky [3].

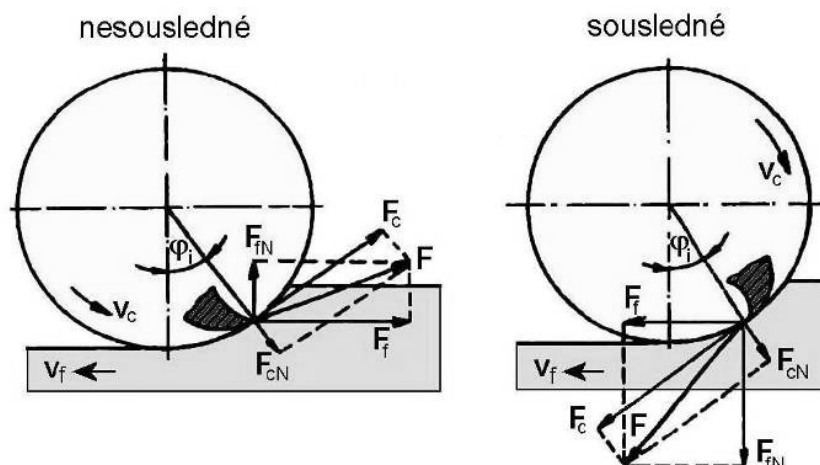
Faktory ovlivňující utváření třísky				
				
Nástroj	Řezné podmínky	Materiál	Soustava obrábění	Způsob chlazení
úhel čela	posuv	tvrdost	tuhost stroje	obrábění za sucha, chlazení vzduchem
úhel řezné hrany	hloubka řezu	pevnost v tahu	tuhost upnutí obrobku	chlazení emulzí
rádus špičky	tloušťka třísky	houževnatost	tuhost nástroje, upnutí VBD	chlazení vzduchem s olejem
geometrie řezné hrany a utvařeče třísky	řezná rychlost	materiálové složení	vyložení nástroje	

5. Řezný odpor a síly řezání

Řezný odpor je základní podmínkou obráběného materiálu ke vzniku stavu napjatosti, který vzniká při vnikání řezného klínu nástroje do materiálu obrobku. Výsledkem tohoto stavu nastane oddělení materiálu ve formě třísky za vlivu elastické a hlavně plastické deformace. Poznáním složek řezných sil a pochopením vlivů ovlivňující řezné síly nám umožní optimalizovat a stabilizovat obrábění a tím zvýšit hospodárnost výroby [2].

V řezu působí nejen síly deformační ale také poměry silové. Při obrábění kovů je nutné vynaložit síly na oddělení části materiálu od obrobku ve formě třísky a na přetvoření třísky. Lze popsat úzký vztah mezi potřebným výkonem na obráběcím stroji nezbytným pro proces obrábění a silami, jenž při odebírání materiálu nástrojem vznikají. Vysoké řezné síly znamenají vysoký výkon, ten je ale omezen výkonem stroje. Nadměrné síly způsobují deformace nástrojů a obrobků, což může mít za následek vibrace za snížení trvanlivosti bříty a ztrátu tolerance obráběné plochy [4].

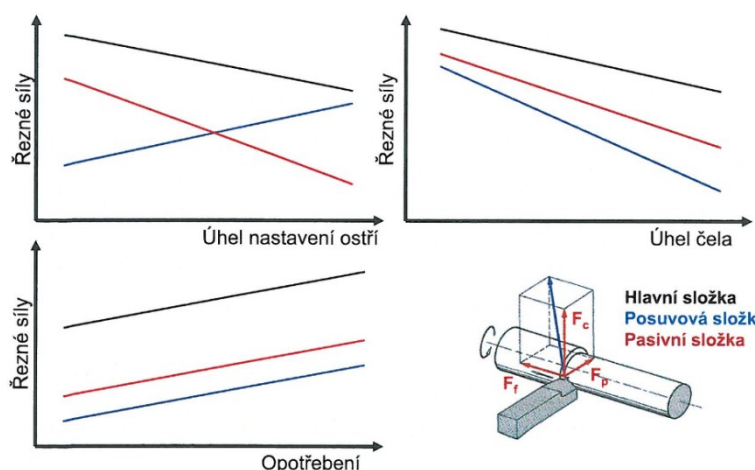
Síla řezání musí odpor řezání při obrábění neustále překonávat. Základní rovnice obrábění : $F = - R$ [N] F - síla obrábění [N], R - řezný odpor [N] [2].



Obr. 5.1 Schéma rozložení složek síly řezání při frézování, F - celková řezná síla, F_c - řezná síla, F_{cN} - kolmá řezná síla, F_f - posuvová síla, F_{fN} - kolmá posuvová síla [2].

Řezné síly ovlivňují:

Geometrie bříty - v místě řezu působí vysoké tlakové síly a tření. Jelikož je největší tlak na ostří bříty a podél čela se pak zeslabuje, pak rozhodující vliv na velikost sil a řezného odporu má samotná geometrie bříty. Nejnižší řezné síly při frézování generuje pozitivní geometrie čela s ostrou řeznou hranou, ale na úkor pevnosti řezné hrany. Podstatný je také úhel nastavení, poloměr zaoblení, úhel sklonu ostří, úhel hřbetu,...[4].



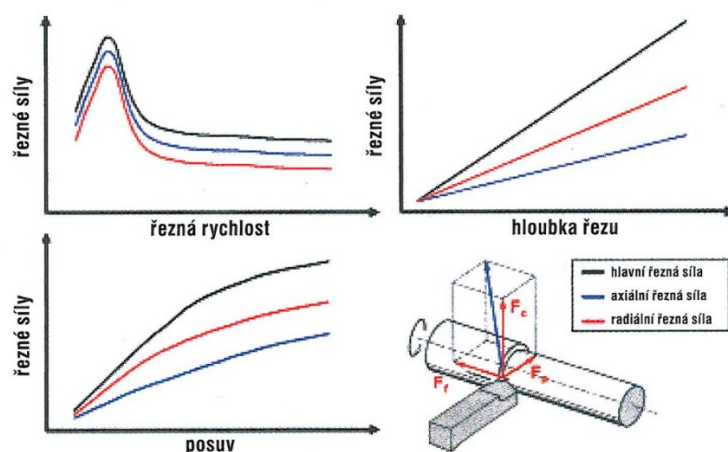
Obr. 5.2 Vliv geometrie nástroje na řezné síly při obrábění [3].

Materiál obrobku a nástroje - vyšší tvrdost materiálu obrobku vnáší zvýšení řezných sil – odolnost vůči deformaci. Materiál nástroje a tudíž tvrdost a houževnatost musí být vhodné k obrábění daného materiálu a strategii obrábění [20].

Otupení nástroje - změnou mikrogeometrie, nebo mezním vylomením břitu, dochází ke změnám poměrů v kontaktním místě řezu a ke zvýšení sil [4].

Řezné prostředí - použitá řezná kapalina ovlivňuje síly jen minimálně v oblasti tření a při malých řezných rychlostech [4].

Řezné podmínky - řezná tangenciální síla F_c je vodítkem v oblasti použitých řezných parametrů. Platí zde stoupající závislost řezných sil na posuvové rychlosti v_f a hloubce řezu a_p . Dle Kienzleova principu popisujeme vztah mezi řeznými podmínkami a silami. Vztah uvádí, pokud je řezná rychlost zvolena v rozmezí pro daný proces obrábění, je její vliv na síly zanedbatelný. Vliv posuvu a hloubky řezu má lineární charakter [2] [20].



Obr. 5.3 Vliv řezných parametrů na řezné síly při obrábění [3].

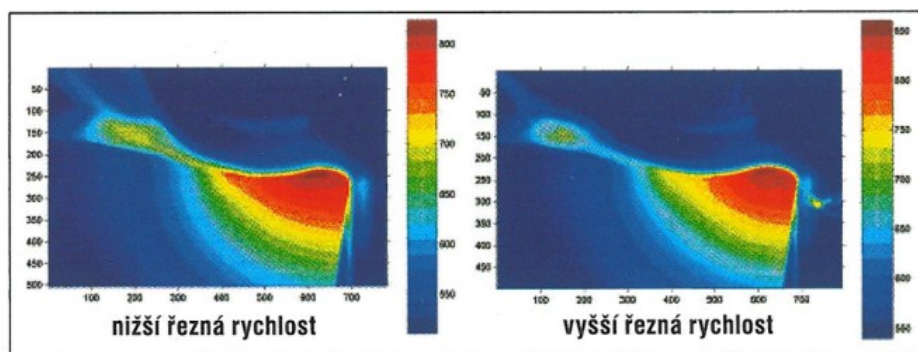
6. Teplo při obrábění

Obrábění je silně deformační proces. Tangenciální složka řezné síly při určité řezné rychlosti reprezentuje množství energie. Část této energie se spotřebuje v oblasti pružné a plastické deformace při řezání, další část energie se podílí na tvorbě třísky. V obou případech vzniká velké množství tepla. Většina tepla se tvoří v oblasti stříhu, méně tepla vzniká z tření mezi třískami a čelem nástroje, řeznou hranou a obrobkem [4].

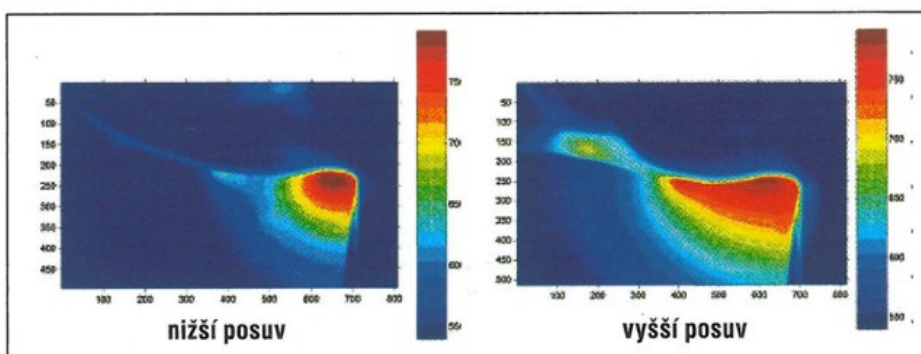
Podmínky ovlivňující vznik tepla:

Geometrie břitu - ostrá pozitivní řezná hrana více odřezává materiál obrobku a méně jej deformuje. Vytváří se proto méně tepla. Úhel čela a hřbetu ovlivňuje vznik tepla třením. Tření lze snížit vhodným utvařečem třísky [20].

Řezné podmínky - vyšší řezná rychlost rychleji deformuje obráběný materiál a vytváří více tepla. Nelze ale řeznou rychlost neúměrně snižovat. Rychlost musí být dostatečně vysoká, aby změkčila materiál v místě řezu. Posuv oproti řezné rychlosti není při vzniku tepla rozhodující. Vyšší posuvy mohou zlepšit odvod tepla z řezu tvorbou silnějších třísek, které efektivněji odvedou teplo. Neoptimálnější je poměr vysokého posuvu s nízkou řeznou rychlostí [20].

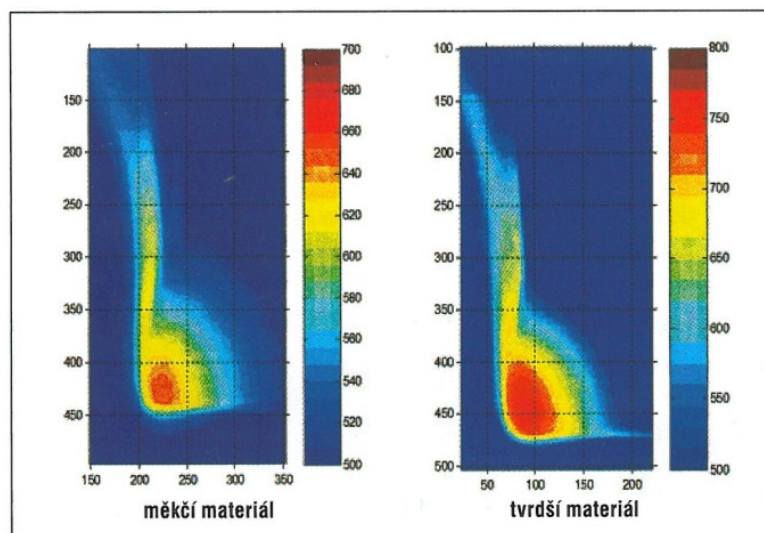


Obr. 6.1 Vliv řezné rychlosti na vznik tepla [3].

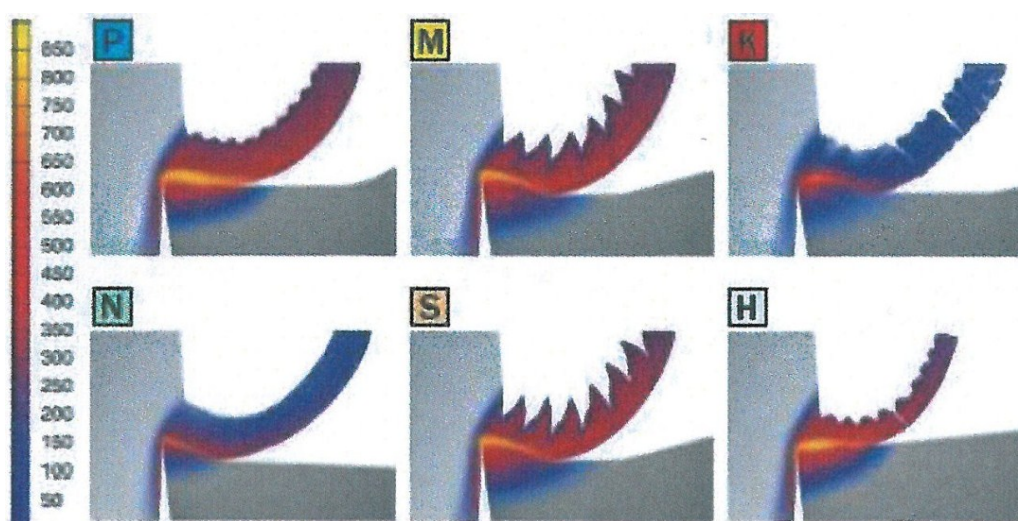


Obr. 6.2 Vliv posuvu na vznik tepla [3].

Materiál obrobku - Nízká tepelná vodivost materiálu obrobku (např. nerezová ocel) zaručuje nižší odvod tepla třískou. Teplo se přenáší do řezné hrany, kde snižuje životnost nástroje. Vyšší tvrdost obráběného materiálu, jež odolává deformaci, způsobuje vyšší teploty na řezné hraně. Tento jev lze vyvážit snížením řezné rychlosti [20].

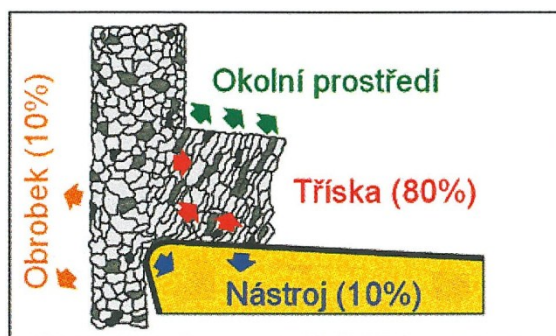


Obr. 6.3 Vliv tvrdosti materiálu na vznik tepla [3].



Obr. 6.4 Vliv druhu materiálu na vznik tepla [3].

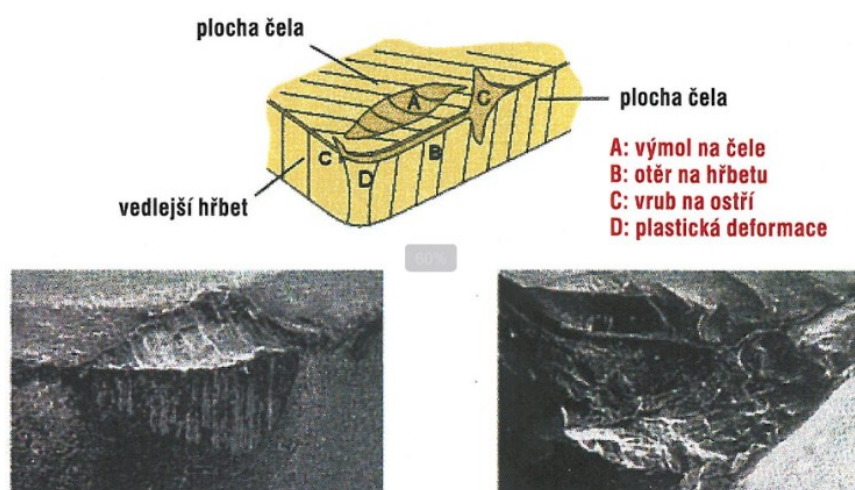
Nejefektivnější odvod tepla ze zóny řezání je třískami. Teplota třísky zatěžuje řezný nástroj jen po dobu kontaktu. Zvýšením tepla, které se akumuluje v řezu, může dojít ke zhoršení vlastností řezné hrany – zkrácení životnosti nástroje a dále k ovlivnění struktury obráběného materiálu. Dnešní moderní řezné materiály, jako např. slinutý karbid, díky své vysoké tvrdosti za tepla může snášet násobně vyšší teploty ve srovnání s nástroji z RO [4].



Obr. 6.5 Optimální přenos tepla při obrábění [3].

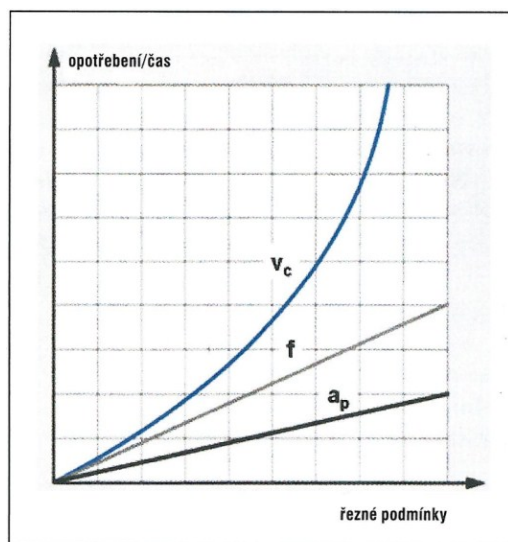
7. Životnost a opotřebení nástroje

Životnost nástroje je v tak náročném procesu jako je obrábění oceli omezena. Můžeme ji chápat jako časový úsek, po který nástroj, nebo jeho část, není třeba vyměnit. Opotřebení bříty u frézování ocelí je přirozený jev, kterému není možné zabránit, ale lze ho snížit, kontrolovat a předvídat. Nejtypičtější a nejbezpečnější je otěr na hřbetu a výmol na čele. Ostatní opotřebení jako nárůstek, vyštipování bříty, plastická deformace, vrub na ostří, hřebenové trhliny, vylomení destičky či ostří je třeba minimalizovat, nebo se jim vyvarovat a to úpravou řezných podmínek, zlepšením tuhosti soustavy obrábění, změnou materiálu obrobku a jeho čistoty a v poslední řadě změnou nástroje, jeho řezného materiálu, geometrie, nebo povlaku [20].



Obr. 7.1 Optimální přenos tepla při obrábění [3].

Souhrn vlivů čítající tření řezné hrany, hřbetu s materiálem obrobku, tření třísky o čelo nástroje, mechanické řezné síly a nestabilita soustavy obrábění, chemicko-tepelné vlivy a jiné, ovlivňují životnost nástroje.



Opotrebení nástroje

Obr. 7.2 Vliv řezných podmínek na opotrebení břitu nástroje [3].

Základní mechanismy opotrebení [4]:

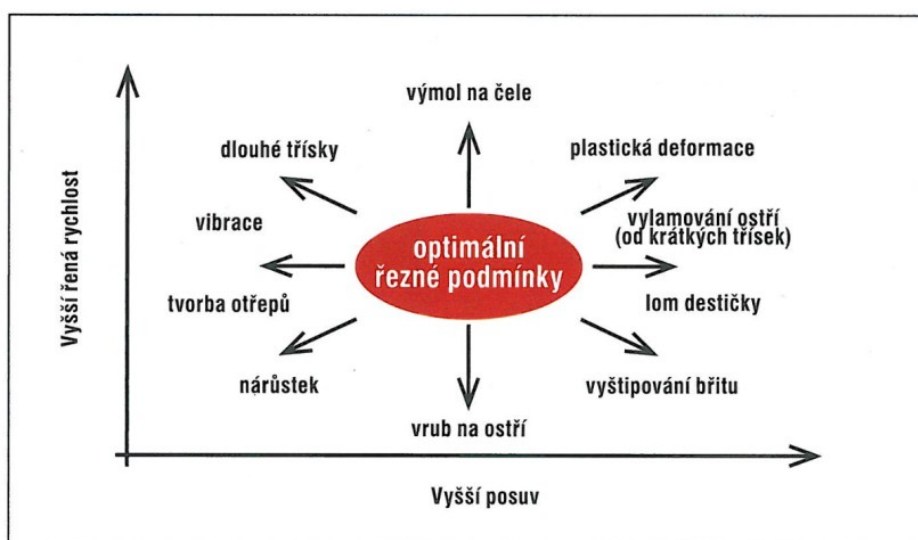
Abrazivní opotrebení - tvrdost řezného a obráběného materiálu (otěr na hřbetu)

Difúzní opotrebení - chemické složení řezného materiálu a materiálu obrobku
(výmol na čele)

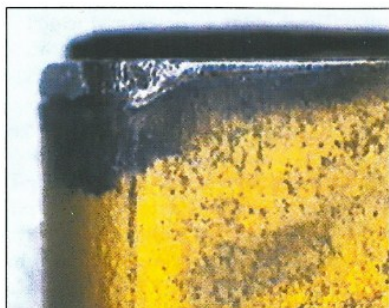
Oxidační opotrebení - chemické složení řezného materiálu

Lomové opotrebení - termomechanické příčiny (vylomení destičky, vyštipování břitu)

Adhezní opotrebení - nízké teploty obrábění (nárůstek)



Obr. 7.3 Vliv řezné rychlosti a posuvu na opotrebení břitu nástroje [3].



Otěr na hřbetu



Výmol na čele



Nárůstek



Vyštipování břitu



Plastická deformace



Vrub na ostří



Tepelné hřebenové trhliny



Vylomení destičky



Vylamování ostří (od příliš krátkých třísek)

Obr. 7.4 Druhy opotřebení břitu nástroje [20].

8. Rozbor a aktuálnost řešení stávající technologie obrábění

8.1 Popis současného stavu hrubovacího a dokončovacího obrábění

Výroba forem firmy Formplast Purkert s.r.o. využívá šest CNC fréz na kterých se dílce hrubují, dohrubovávají po kalení před dokončovacími operacemi a strojně dokončují. Pro zvýšení operativnosti frézárny a usnadnění plánování strojních operací programátorem, jsou všechny stroje osazeny stejnými hrubovacími, dokončovacími, z větší části i vrtacími nástroji. Tyto nástroje, v řešeném případě hrubovací a dokončovací frézy, jsou na strojích odstupňovány podle průměrů. To je výhodné k použití žádaného průměru nástroje pro různé rozměrné obrobky, tvarově složité dílce (menší průměr nástroje má možnost v úzkých a hlubokých tvarech takového bočního překrytí a_e , které mu umožní bezpečné zanoření a následné rozjetí materiálem bez zbytku nedofrézovaného materiálu ve středu průměru nástroje) a dále pro zbytkové dohrubování v rozích a rádiusech tvaru po nástroji s větším průměrem. Menší průměry nástrojů jsou osazovány na dokončovacích strojích s nižším výkonem na vřetenu a vyššími otáčkami.

Již od počátku CNC programování se řeší otázka kdy a za jakých podmínek při hrubování a zbytkovém dohrubování obrobku použít nástroj s konvenční geometrií břitu – kruhové VBD a nebo nástroj pracující vyššími posuvy, nižší hodnotou a_p a s VBD s proměnnou geometrií břitu. Obdobné rozhodování přichází při dokončování tvarů monolitním nástrojem, či nástrojem s VBD. Nyní se obě varianty prolínají za vlivu zvyku a uvážení programátora, obsluhy stroje a to bez dostatečné znalosti chování těchto nástrojů ve výrobě firmy. Každý nástroj má svá specifika, použití, výhody, nevýhody při různých strategiích a vytváří vedlejší nezanedbatelné vlivy při obrábění. Je také specifický i z ekonomického hlediska jak v ceně nástroje, tak i v objemu materiálu odebraného za jednotku času. K zhodnocení těchto stavů a důvodu velké obsazenosti nástrojů na strojích a tudíž i k nezanedbatelnému množství spotřebovaných VBD, jsem provedl níže popsany test.

Tab. 8.1.1 Obsazenost řešených nástrojů na CNC strojích

Typ / Ø	Ø10 (mm)	Ø20 (mm)	Ø25 (mm)	Ø35 (mm)	Ø42 (mm)	celkový počet
hrubovací VBD R5	-	3x	3x	3x	1x	10 kusů
hrubovací VBD R3	-	3x	3x	3x	2x	11 kusů
dokončovací monolit	6x	-	-	-	-	6 kusů
dokončovací VBD	8x	-	-	-	-	8 kusů

8.2 Popis a charakteristika nástrojů

Fréza SDH-4350-R10-M16 Ø35R5

Nástroj Ø35R5 označený SDH-4350-R10-M16 s kruhovou geometrií VBD pochází od Japonské firmy Dijet, frézovací serie Super Diemaster, G – body. Jedná se o čelní, tvarovou frézu určenou převážně pro hrubování do většiny typů materiálů.

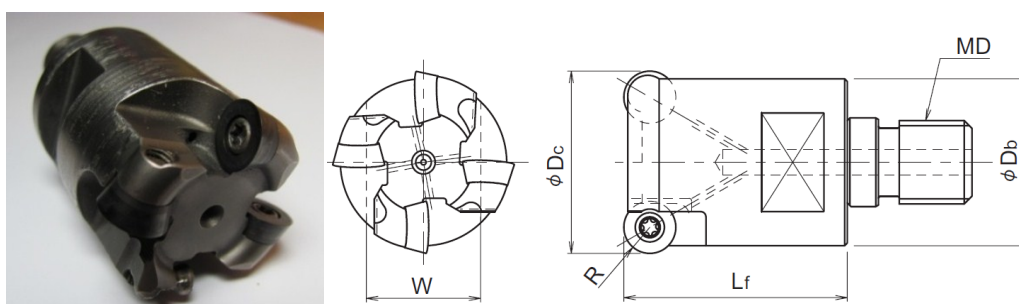
Popis: -pravotočivá pro sousledné frézování

-utahování hlavičky klíčem č.22

-vybavená otvory pro vnitřní chlazení z čela každého zubu

-pozitivně - negativní geometrie břitu (radiální, axiální úhel čela)

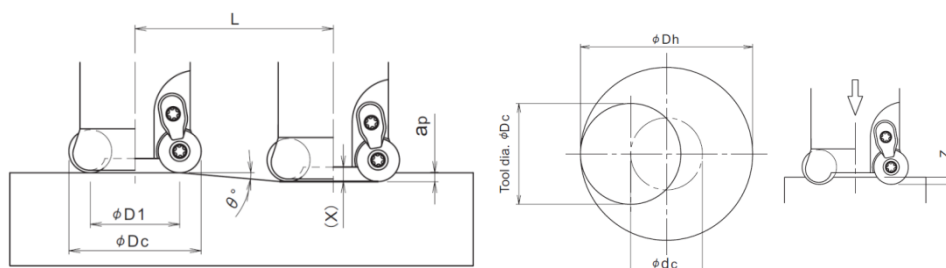
-povrch povlakovaný pro snížení otěru třískou



Obr. 8.2.1 Fréza Ø35R5 – technické parametry [5].

Tab. 8.2.1 Technické parametry frézy Ø35R5 [5].

Počet zubů (ks)	ØDc (mm)	R (mm)	Lf (mm)	ØDb (mm)	MD (-)	W (mm)
4	35	5	43	32	M16	22



Obr. 8.2.2 Fréza Ø35R5 – pracovní parametry [5].

Tab. 8.2.2 Pracovní parametry frézy Ø35R5 [5].

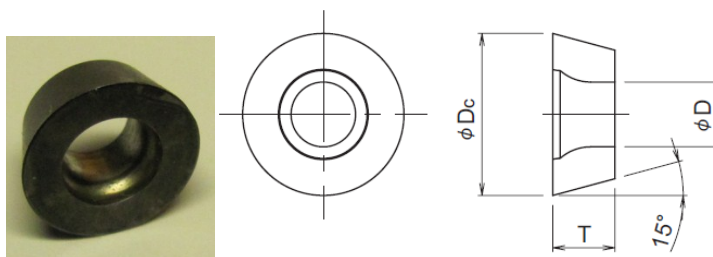
ØD1 Ø v ose zubů (mm)	ØDh min otvor pro rozjetí (mm)	ØDh max otvor pro rozjetí (mm)	max. úhel zanoření (°)	a _p max (mm)	L celková délka řezání na max. a _p (mm)	Z max. vrtací hloubka (mm)
25	54	5	5°30'	5	54,9	2,5

Ø předvrtané díry pro rozjetí v tvaru : Ø_{dc}=ØDh-ØDc

VBD RDMW1004MOT

Destička použitá v testu je ze tří možných variant dodávaných k nástroji. Jedná se o destičky do měkkého, tvrdého materiálu a univerzální skupinu. Je obtížné v dvousměnném provozu se střídající se tří člennou obsluhou dodržet přehled o typu aktuálně upnuté destičky v nástroji (při více pohledově stejných, ale materiálově různých VBD k nástroji). Univerzální typ VBD JC8015, který je určený pro frézování oceli do 55HRC, tímto limitem zcela vyhovuje. Kalené tvarové vložky forem obráběné v řešeném provozu mají tvrdost max.52 +2 HRc.

VBD RDMW1004MOT – JC8015 ze slinutého karbidu a je určena pro hrubování materiálů skupiny P,M,K,S,H s omezením v jednotlivých skupinách. Jde o hladkou broušenou destičku bez aretací a utvařečů třísky. Úhel hřbetu je 15°. Destička je jednostranná, lze ji min. 4x otočit dle otupení.



Obr. 8.2.3 Fréza Ø35R5 – VBD RDMW1004MOT [5].

Tab. 8.2.3 Technické parametry VBD RDMW1004MOT [5].

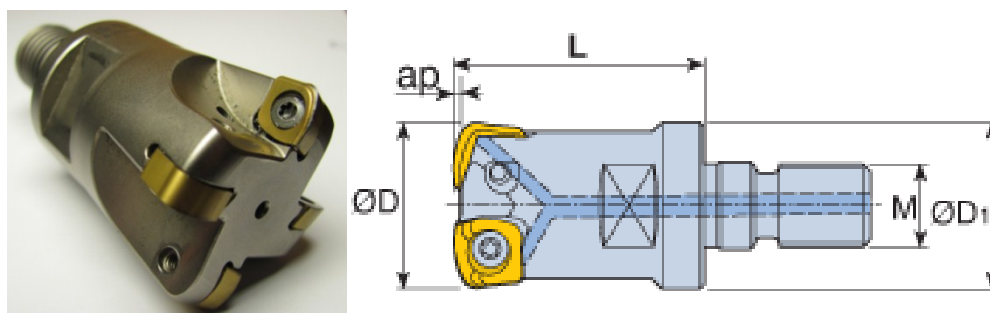
Ø _{dc} (mm)	T (mm)	ØD (mm)
10	4,1	4,4

Fréza KU 035.001 Ø35R3

Kopírovací fréza MouldMakerSpeed KU 035.001 je vysoce výkoný rychloposuvový nástroj pro frézování rovinných ploch a 3D tvarů od korejské společnosti TaeguTec z produkce společnosti Innotool. Nástroj pracuje jen v hrubovacím režimu výroby.

Popis: -využívá vysoké posuvové rychlosti v_f a nízké hloubky řezu a_p

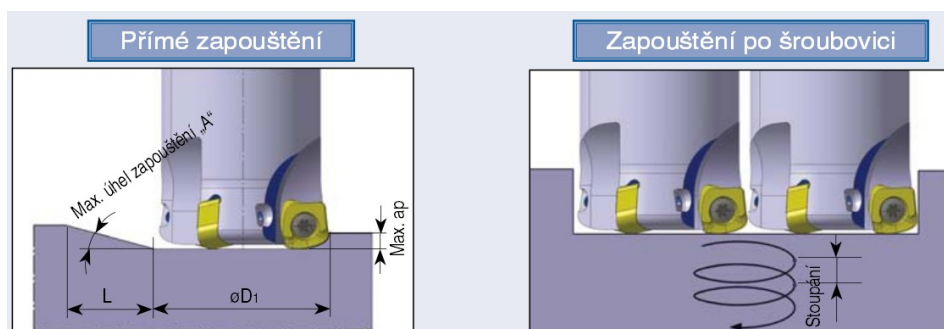
- pravotočivá pro sousledné frézování
- utahování hlavičky klíčem č.22
- vybavená otvory pro vnitřní chlazení z čela lůžka VBD
- geometrie břitu VBD proměnného tvaru, pozitivně-negativní (radiální, axiální úhel čela)



Obr. 8.2.4 Fréza Ø35R3 - technické parametry [6].

Tab. 8.2.4 Technické parametry frézy Ø35R3 [6].

Počet zubů (ks)	ØD (mm)	prg.R (mm)	L (mm)	ØD ₁ (mm)	M (-)	a _p (mm)
4	35	3	43	29	M16	1



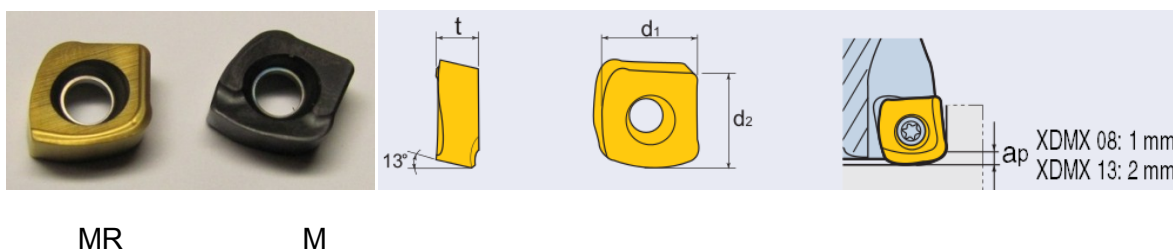
Obr. 8.2.5 Fréza Ø35R3 - pracovní parametry [6].

Tab. 8.2.5 Pracovní parametry frézy Ø35R5 [6].

přímé zapouštění			zapouštění po šroubovici		
max.A (°)	max. a_p (mm)	L min (mm)	min.Ø (mm)	max. Ø (mm)	max. stoup./ot (mm)
0,5	1	115	50	64	0,7

VBD XDMX 08T310R-M/MR TT9080

Destička s proměnným geometrickým tvarem pro středně lehké hrubování materiálů skupiny P,M,S,K. Jemný řezný materiál TT9080 vyniká houževnatostí a odolností proti opotřebení. Povlak VBD TiAlN+Tin. VBD má dva břity, je opatřena utvařečem třísky. V nástroji je přitažena šroubkem. Jelikož se jedná o břit proměnného tvaru, programují poloměr zaoblení $R=3\text{mm}$. Rozdíl představuje zbytkový materiál tloušťky 0,5mm. Břit VBD typu – M je pozitivní. VBD typu - MR má nulovou geometrii řezné hrany, což zpevňuje břit proti vylomení v řezu tvrdým materiálem.



MR

M

Obr. 8.2.6 Fréza Ø35R5 VBD XDMX 08T310R-M/MR [6].

Tab. 8.2.6 Technické parametry VBD XDMX 08T310R [6].

d_1 (mm)	d_2 (mm)	t (mm)
8,1	8,1	3,97

Fréza RTD1005 Ø10r0,5 – monolit

Čtyřzubá monolitní dokončovací fréza s rohovým rádiusem firmy DHF. Použití pro frézování oceli do tvrdosti 55HRC. Stoupání šroubovice 35° délka $l = 25\text{mm}$, povlak nástroje G6 AlCrN.



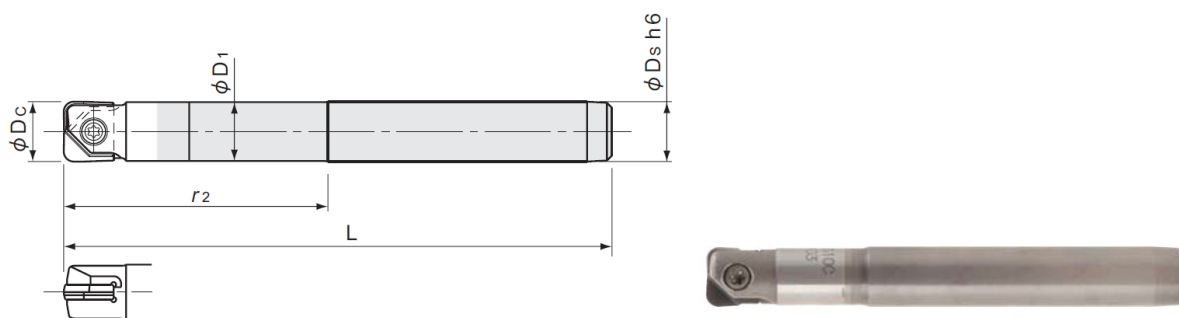
Obr. 8.2.7 Fréza RTD1005 Ø10r0,5 – monolit [7].

Fréza RNMS-100025U-S10C Ø10r0,5 – VBD

Nástroj Ø10R0,5 RNMS-100025U-S10C s VBD HRM-100-R05 pochází od japonské firmy Dijet, frézovací serie Mirror Radius. Fréza je určena pro dokočování stěn, roviných ploch kapes a 3D tvarů. Do držáku lze upnout hrubovací a kopírovací VBD.

Popis: - pravotočivá pro sousledné frézování

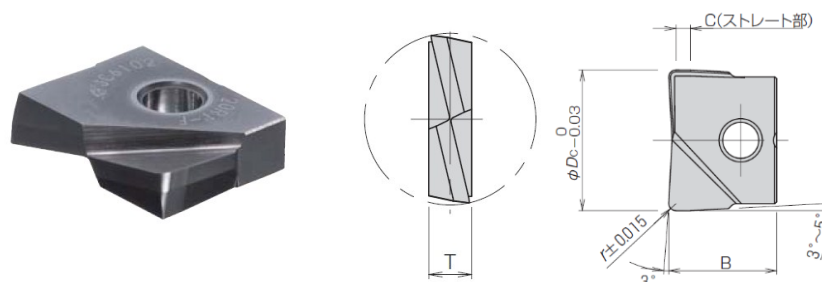
- dvě řezné hrany na destičce
- upínání VBD do držáku pomocí šroubku
- pozitivní geometrie břitu destičky
- jemnozrnný karbid VBD s vysokou trvanlivostí
- karbidový držák VBD
- rychlá výměna destičky přímo na stroji v upnutém držáku v upínači ve vřetenu



Obr. 8.2.8 Fréza RNMS-100025U-S10C Ø10r0,5 – VBD [8].

Tab. 8.2.7 Technické parametry RNMS-100025U-S10C [8].

ØDc	r_2	L	ØD ₁	ØDs
10	25	75	9,5	10



Obr. 8.2.9 Technické parametry VBD HRM-100-R05 [8].

Tab. 8.2.8 Technické parametry VBD HRM-100-R05 [8].

typ	ØDc	r	B	C	T
JC6102	10	0,5	8,5	1,5	2,6

8.3 Popis a charakteristika strojů

Mikron VCP 600

Vysokovýkonné universální tří osé vertikální obráběcí centrum disponující dobrým přístupem do pracovního prostoru, vysokou přesností – masivní litino-betonový základ stroje a silným pracovním vřetenem s dlouhou životností.

Technické údaje [9]:

Délky posuvů - osa X=600mm (pojezd stolu), osa Y=450mm (pojezd stolu),
osa Z=450mm (pojezd nástroje)

Pohony posuvů (x,y,z) - střídavý servomotor 6,3kW, na vřetení s ozubeným řemenem

Max. rychlost zrychleného chodu - 22 m/min⁻¹

Max. akcelerační síla posuvu - 5 000N

Max. nosnost stolu - 200kg

Otáčky vřetene - max.42 000min⁻¹

Výkon motoru vřetene - 10kWpři 100% ED

Měnič nástroje - horizontální otočný, 36 míst

Sklíčidlo nástroje HSK - 40

Řídící systém - Heidenhain iTNC 530

Chladicí systém - uzavřený aktivní chladicí okruh, náplň 5l

Chladicí a mazací systém procesu obrábění - vnější přívod chladicího kapalného média (emulze) náplň 120l a stlačeného vzduchu v kombinaci s olejem (olejová mlha).

Mikron VCE 1600-40 Pro

Tří osé vertikální obráběcí centrum dosahující při hrubovacích operacích vysokého obráběcího výkonu.

Hlavní charakteristika stroje :

- přístup do pracovního prostoru omezen schodištěm a nezbytným vstupem obsluhy do pracovní kabiny
- zamezen přístup do zásobníku nástrojů při chodu programu
- vysoká tuhost a přesnost - masivní litinový základ stroje
- vhodný stroj pro hrubovací operace - dostatečný výkon vřetene a zrychlení posuvů X,Y,Z pro práci nástrojů větších průměrů a nástrojů pracujícími výššími posuvy
- vnitřní chlazení místa řezu chladicí kapalinou a stlačeným vzduchem s olejem
- vysoká nosnost stolu v kombinaci s velkou pracovní plochou

Technické údaje [10]:

Délky posuvů - osa X 1600 mm (pojezd stolu), osa Y 900 mm (pojezd stolu),
osa Z 800 mm (pojezd nástroje)

Pohony posuvů (x,y,z) - střídavý servomotor, na vřetení s ozubeným řemenem

Max. rychlost zrychleného chodu - 20 m/min^{-1}

Max. akcelerační síla posuvu - X,Y = 10 000N, Z = 13 800 N

Max. nosnost stolu- 2 000 kg

Otáčky vřetene - max. $10\,000 \text{ min}^{-1}$

Výkon motoru vřetene - 18kW při 100% ED

Točivý moment - 139 Nm při 100% ED

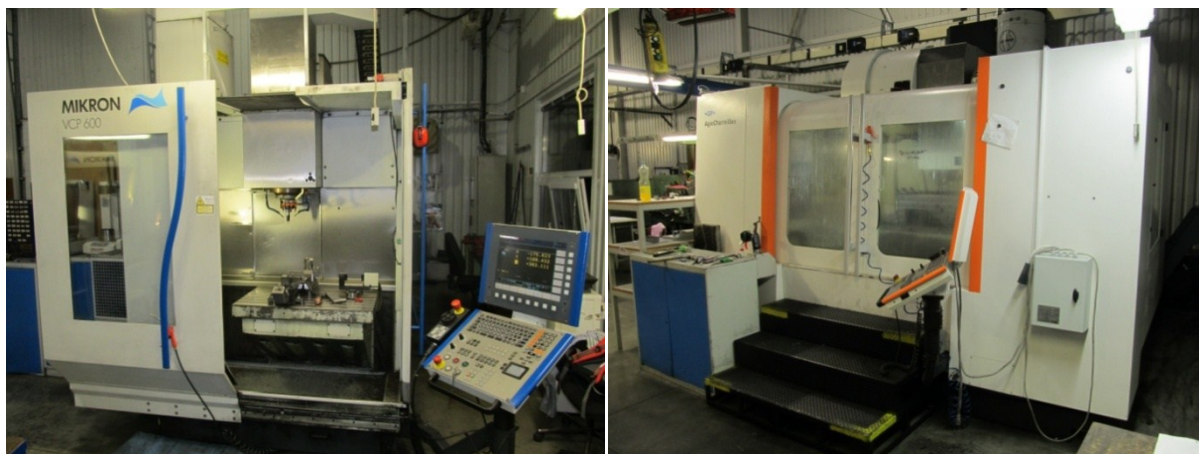
Měnič nástroje - vertikální bubnový otočný, 30 míst

Skříčidlo nástroje - ISO 40

Řídicí systém - Heidenhain iTNC 530

Chladicí systém vřetene - uzavřený aktivní chladicí okruh spojen s aplikací do místa řezu

Chladicí a mazací systém procesu obrábění - vnější a vnitřní přívod chladicího kapalného média (emulze) náplň 540l a stlačeného vzduchu v kombinaci s olejem (olejová mlha).



Obr. 8.3.1 Mikron VCP 600, Mikron VCE 1600-40 Pro.

8.4 Materiál obrobků

Ocel 1.2343 ESU

Chrom - molybden - křemík - vanadová ocel vhodná ke kalení v oleji a na vzduchu. Disponuje velmi dobrou prokalitelností, houževnatostí a plastickými vlastnostmi i při zvýšených teplotách, vysokou pevností za tepla a odolností proti popuštění. Ocel zaručuje výbornou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a sníženou citlivost při prudkém teplotním kolísání. Ocel 1.2343 ESU žíhaná na měkko vykazuje dobrou obrobitelnost. Dobře tvařitelná za tepla [11].

Použití oceli na kalené pevné a pohyblivé díly, jádra a jiné tvarové části forem pro vstřikování plastů. Dále formy pro odlitky vyráběné tlakovým litím slitin hliníku a slitin hořčíku a zinku. Namáhané zápustky a vnitřní vložky zápustek a podobné nástroje pro tváření za tepla [11].

Tab. 8.3.1 Chemické složení oceli W.Nr. 1.2343ESU [11].

Značka oceli	Chemické složení v %								Tvrдость ve stavu	
									Žíh. na měkko	Zušlechťeném
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max.	S max.	HB max.	HRc min.
DIN X38CrMoV51	0,36- 0,42	0,30- 0,50	0,90- 1,20	4,80- 5,50	1,10- 1,40	0,25- 0,50	0,03	0,03	229	50
ČSN 19 552	0,32- 0,42	0,20- 0,50	0,80- 1,20	4,50- 5,50	1,10- 1,60	0,35- 0,60	0,03	0,03	240	50

Ocel 12 050

Uhlíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení. Určená pro desky a rámy forem, pro nezakalené netvarové díly, které nejsou vystavené tření a mechanickému namáhání. Tvarové díly jen po zušlechtění, nebo povrchovém kalení. Nezakalená či zušlechtěná je dobře obrobitelná [12].

Určená pro nepohyblivé a netvarové díly forem. Vhodná na hřídele strojů, větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, písty kompresorů, čepy, šrouby, dopravní válečky, páky, zarážky, kolíky, spojovací součásti, vrtací tyče a frézovací trny [12].

Tab. 8.3.2 Chemické složení oceli ČSN 12 050 [12].

Značka oceli	Chemické složení v %								Tvrдост ve stavu	
									Žíh. na měkko	Zušlechtěném
	C	Mn	Si max.	Cr max.	Mo max.	Ni max.	P max.	S max.	HB max.	HRc min.
DIN - není	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ČSN 12 050	0,42-0,50	0,50-0,80	0,40	0,40	0,10	0,40	0,045	0,045	208	-

9. Postupy měření a hodnocení operací obrábění

9.1 Měření drsnosti povrchu

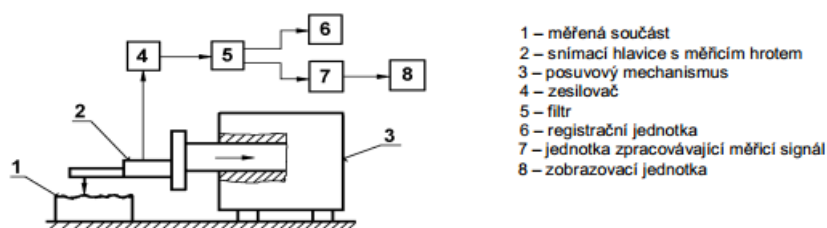
Obrobením plochy součásti pozorujeme reliéf povrchu. Ten nese informaci o použité technologii a podmínkách výroby. Hodnocením výstupních hodnot drsnosti povrchu lze posuzovat práci nástroje vzhledem k geometrii, řeznému odporu, řezným podmínkám a opotřebení řezné hrany. [14].

Handysurf E-35A

Přístroj použitý pro měření je přenosný drsnoměr firmy Zeiss. Snímač jsem zvolil standartní typ E-DT-SM10A, snímací hrot diamant radius 5 μm , kluzná patka safír, radius 40mm, rozlišení 0,02 μm , měřicí síla 4 mN, rychlost měření 0,6mm/s. Přístroj se skládá z mechanické a elektronické části [13].

a) Část mechanická zahrnuje pohybující se rameno se snímacím diamantovým hrotem. Rameno se pohybuje rovnoměrně přímočaře se stálou rychlostí. Vzdálenost posunu jsem zvolil maximální – 12,5mm [15].

b) Část přeměňující mechanický signál generovaný snímacím hrotem snímající nerovnosti povrchu na signál elektrický. Ten přístroj zpracuje a jako výstup podá informaci o profilu tvaru [15].



Obr. 9.1.1 Schéma dotykového profilometru [15].

Postup měření

Po ofrézování testovaného tvaru a po vychladnutí materiálu jsem umístil přístroj na měřenou plochu tak, aby všechny čtyři plochy ustavovací základny přístroje byly v rovině s měřenou plochou. Proti nechtěnému pohybu přístroje vlivem přitažení ramenem jsem aretoval přístroj plastickou modelářskou hmotou. Pro získání přesnějšího výsledku jsem měření opakoval na jiných místech obrobené plochy. Výsledek je aritmetický průměr naměřených hodnot po každé operaci.



Obr. 9.1.2 Profilometr Handysurf E-35A

9.2 Měření teploty

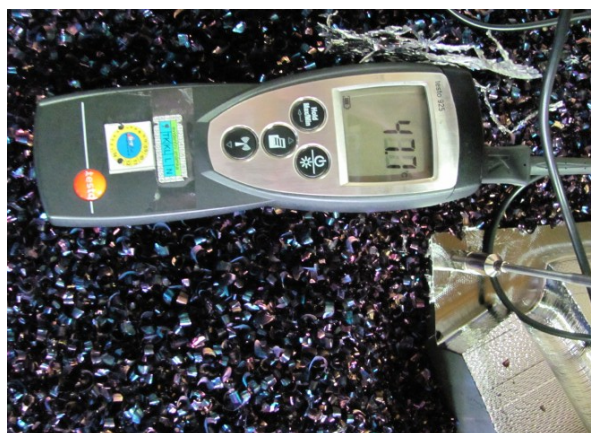
Obrobený dílec i frézovací nástroj dovoluje využít pro měření teploty dotykové metody založené na přenosu tepla konvekci mezi měřeným objektem a senzorem teploty.

Teploměr Testo 925

Přesný teploměr s velkým rozsahem měřených teplot a rychlou odezvou při měření. Použil jsem povrchovou sondu s pružným termočlánkem pro nerovné povrchy. Měřicí rozsah -60°C až $+300^{\circ}\text{C}$, krátkodobě až $+500^{\circ}\text{C}$, odezva měření 3s, přesnost $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ $+0.3\%$ z naměřené hodnoty, E typ K (NiCr-Ni)

Postup měření

Pro odečtení nárůstu teploty vlivem frézování jsem pomocí teploměru zaznamenal teplotu dílce před obráběním. Ihned po skončení frézování dílce jsem přiložil dotykovou sondu teploměru na povrch frézovací hlavičky upnuté ve vřetenu stroje a zaznamenal naměřenou teplotu. Hned poté jsem měřil stejným způsobem teplotu povrchu ofrézovaného dílce v místě ukončení operace. Měření proběhlo bezprostředně po dofrézování dílce a tím se zabránilo vychladnutí a ztrátě teploty měřeného předmětu vlivem tepelné vodivosti celé soustavy upnutí dílce a nástroje.



Obr. 9.2.1 Teploměr Testo 925

9.3 Měření rozměrů

Měření odchylek od požadovaného rozměru jsem provedl u hrubovací strategie digitálním hloubkoměrem s tolerancí měření 0,01mm. Měřil jsem boční plochu rovnoběžnou s obvodovou plochou dílce. U této kolmé plochy ke stolu stroje je dobře pozorovatelné stranové odpružení nástroje vlivem řezného odporu a vyložení nástroje. Naměřená odchylka rozměru dna rámu zahrnuje otupení nástroje a součet nárůstů délkových a objemových hodnot vlivem teplotní délkové a objemové roztažnosti obráběného dílce a jeho soustavy upnutí a samozřejmě také nástroje ve spojení s upínačem a vřetenem stroje.

Dílec obráběn dokončovacím nástrojem a příslušnou dokončovací operací klade vyšší nárok na přesnost měření tvarových obrobených ploch. Měření proběhlo na měřícím vertikálním stroji Wenzel LH54. Měřicí sonda snímala rozměr povrchu vždy přibližně ve stejném místě porovnávaných dílů. Výsledkem je měrový protokol.

Wenzel LH54

Portálové 3D souřadnicové měřicí centrum s uložením na vzduchových ložiskách umožňuje přesnou kontrolu výrobků s porovnáním na CAD model.

- rozlišovací schopnost 0,0005 mm
- pracovní plocha měřícího centra je 500x600x400 mm
- hmotnost měřeného dílu až 100 kg
- možnost tisku měřícího protokolu
- možnost tvorby CNC programů pro sériová měření a jejich statistické vyhodnocení.



Obr. 9.3.1 3D souřadnicové měřicí centrum Wenzel LH54

9.4 Měření opotřebení nástroje

Opotřebení řezného břitu nástroje jsem posuzoval na přístroji Werth SCOPE-CHECK 300. Výstupem opotřebení jsou digitální snímky břitových destiček. VBD byly upnuty a foceny z podobné pozice ustavení v přístroji a stejným přiblížením, aby nedocházelo ke zkreslení vady. Nejedná se o zjištění přímé hodnoty opotřebení, ale o porovnávací zkoušku testovaných VBD.

Werth SCOPE-CHECK 300

Souřadnicový měřicí stroj 3D konstrukce pro universální dílenské měření vysoké přesnosti.

Měřicí rozsah: X=300mm, Y=200mm, Z=200mm



Obr. 9.4.1 Měřicí přístroj Werth SCOPE-CHECK 300

9.5 Hodnocení zatížení stroje vlivem řezného odporu

Hodnotu jsem odečítal z ukazatele zatížení stroje zobrazeného na základní obrazovce stroje při chodu programu. Zatížení včetně udávané v % s tolerancí 5% je reálné v čase chodu programu a umožňuje snadnou kontrolu řezného odporu v konkrétním místě a poloze nástroje vůči obrobku. Měření pracuje na principu vyhodnocení výkonu elektromotoru stroje při aktuálním řezném odporu.

9.6 Hodnocení třísky

Třísku hodnotím z hlediska délky, průřezu, tvaru a tepelného ovlivnění – barvy. Přestože se při frézování jedná o přerušovaný řez, mohu u ocelí použitých v testu sledovat odlišnosti z pohledu délky třísky:

- ocel rámu 12050 vytváří delší pravidelnou třísku
- legovaná ocel vložky 1.2343 ESU tvoří kratší třísky spíše nepravidelného tvaru
- kalená ocel vložky tvoří krátké křísky

Důležitý faktor ovlivňující třísku je nástroj. Pozitivní geometrie břitu testovaných nástrojů snižuje řezné síly a také napomáhá k tvorbě delších třísek, které zvýšeně, pokud nástroj není opatřen utvařečem třísek, třou o čelo nástroje a vytvářejí přírůstek tepla. V případě tohoto testu jsou geometrie nástroje a materiál obrobku dané. Proto stěžejní vliv na třísku přisuzuji řezným podmínkám.

Teplo má v řezu, když opomenou žádané změkčení materialu obrobku, negativní vliv. Nejefektivnější odvod tepla z oblasti řezu je právě třískou. Vše samozřejmě závisí na tepelné vodivosti materiálu obrobku. Obráběná ocel testu má z tohoto pohledu dobrou tepelnou vodivost, proto lze předpokládat dobrý odvod tepla z řezu právě třískou. Vyšší posuvy u nástroje Ø35r3 vytvářejí krátké, ale silnější třísky. To přináší větší objem odebraného materiálu ve formě třísek = optimálnější odvod tepla.

V našem případě neměříme velikost tepla u řezné hrany. Proto se spokojíme s barvou třísky, jakožto indikátorem odvodu tepla z řezu.

10. Průběh navrženého experimentu

10.1 Hrubovací operace

Testy pro výše uvedené frézovací hlavy Ø35r5 a Ø35r3 jsou provedeny za schodných podmínek :

- frézování na materiálově stejném a tvarově schodném (zrcadlovém) dílu
- obrábění na jedné CNC frézce - Mikron VCE 1600-40 Pro
- frézovací držák stejný pro obě hlavy, vyložení nástroje 90mm
- tvorba programu se podřizovala vždy nejvyšší produktivitě obrábění za zachování příznivých podmínek řezu, strategie obrábění schodná
- měření výchozích hodnot stejným způsobem za co nejbližších podmínek

CAM program PowerMill

- strategie hrubování ofsetem
- tolerance 0,1
- rychlostní obrábění/hladký profil/ radius rohu 0,05
- pořadí/kapsa
- nájezd/pod úhlem/nc dráhy

10.1.1 Hrubování rámu formy

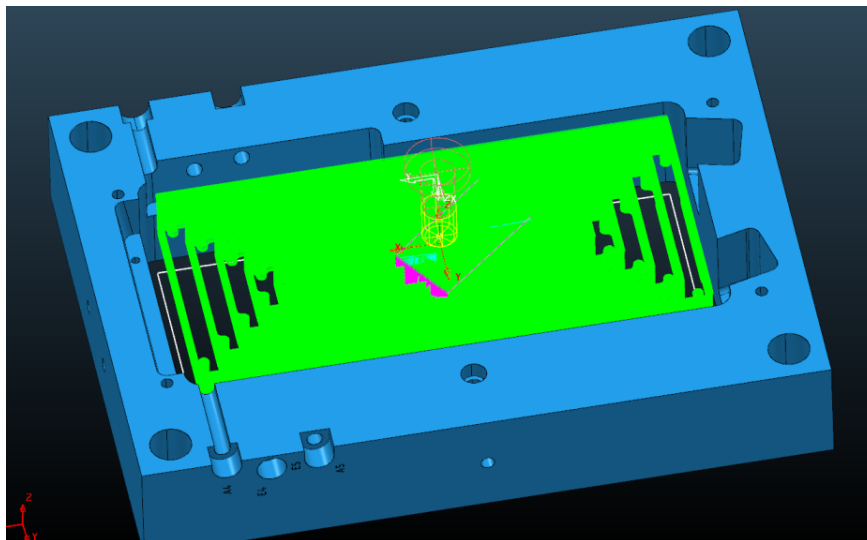
První z řady pokusů představuje hrubovací frézování rámu formy z materialu 12 050 pro vsazení tvarových vložek.

Charakteristika aplikace

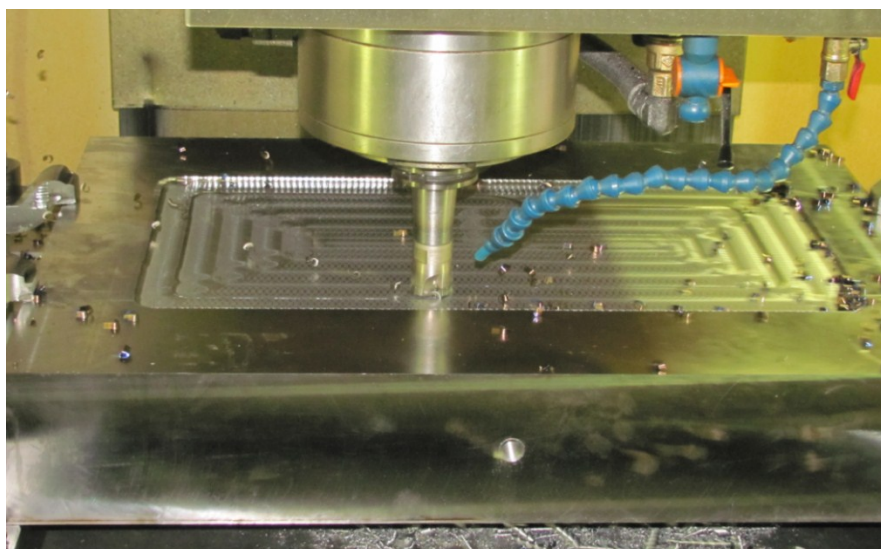
- odebrání velkého množství materiálu za jednotku času = vyšší vyprodukované teplo
- pravidelný geometrický tvar kapsy = pravidelné dráhy nástroje a tím i optimálnější překrytí a_e , nízké nároky na dynamiku stroje
- minimum přejezdů, nájezdů a výjezdů z dráhy nástroje = úspora času obrábění, snížení otupení nástroje v kritickém zanořování, minimum tepelného kolísání (chladnutí) nástroje mimo řez
- vysoká tuhost upnutí = magnetická deska na celé ploše obrobku
- materiál obrobku nízce legovaná ocel = nízký řezný odpor
- snížený odvod třísek z prostoru obrábění = vertikální CNC stroj x hluboká kapsa tvaru

Postup práce

Z důvodu jednoho polotovaru rámu jsem po upnutí obrobku zahájil obrábění z jedné strany do hloubky 55mm. Po zjištění všech měřených hodnot a vychladnutí materiálu jsem rám otočil a pokračoval druhým nástrojem z druhé strany do stejné hloubky. Pro zachování co nejschodnějších podmínek zůstalo 20mm dno nedofrézované. Měření probíhalo stejným způsobem na této straně. K chlazení řezu jsem použil stlačený vzduch sycený olejem tzv.olejová mlha, vedený středem nástroje a dále rozvedený otvory v nástroji vedenými k místu řezu. Jako přídatný ofuk jsem použil stejný vzduch přivedený vnějšími vzduchovými hadicemi. To má zvýšit odstraňování velkého objemu třísek z hluboké kapsy rámu a tím snížit riziko poškození nástroje a řezné hrany. Odhrubováno bylo cca 70kg materiálu na nástroj.



Obr. 10.1.1.1 Dráhy nástroje – hrubování rámu.



Obr. 10.1.1.2 Hrubování rámu.

Řezné podmínky nástroje Ø35R5

Pro určení řezných parametrů jsem vycházel z doporučených katalogových hodnot výrobce, které jsem dále konzultoval s prodejcem nástroje z důvodu upřesnění podmínek frézování danou strategií obrábění a vlastností materiálu obrobku.

Tab. 10.1.1.1 Řezné parametry Ø35R5, délka vyložení 90 mm.

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min^{-1})	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	2	2100	230	(2500) zvýšeno na 2700	0,3	1000	5

Pro stanovení optimálních řezných parametrů a objasnění jejich vlivu jsem před samotným testem provedl krátkou zkoušku, kdy jsem pro udržení produktivity práce zachoval hodnotu a_p a a_e , zvyšoval posuvovou rychlost v_f a zvyšoval, nebo snižoval řeznou rychlost v_c . Cílem bylo dosáhnout mezních kritických hodnot procesu za udržení dostatečné stability řezu a tím ověřit vhodnost řezných parametrů daných výrobcem nástroje. Test objasní charakteristiky řezání, vznik a přenos tepla z řezu. Použitý nástroj samozřejmě nemá ideální geometrii břitů, čela, ostří a hřbetu. Proto také výsledky, jež ukazují sníženou tvorbu tepla, nelze použít v praxi pro nadměrnou nestabilitu řezného procesu.

Tab. 10.1.1.2 Test řezných parametrů nástroje Ø35R5 na rámu formy mat. 12 050.

pokus	1.		2.		3.	
otáčky (min^{-1})	1100		2100		3200	
posuv (mm/min)	2500	-	2500	3000	2500	-
tříška	zlato-světle vínová		tmavě modro - fialová		světle modrá - stříbrná	
stabilita řezu	-vibrace se přenáší do stroje, volné kryty rezonují -stabilita špatná		- stabilita dobrá		-vibrace nástroje v rádiusech tvaru a u stěn při větším opásání destičky -řez v ploše dobrý -stabilita horší	

závěr	-snížení řezné rychlosti vedlo k nižšímu změkčení materiálu vlivem tepla v oblasti řezu. To má za následek zvýšení řezného odporu a následné vibrace. Otáčky jsou neúměrné hodnotě posuvu = silnější tříska.	-katalogové řezné podmínky dané výrobcem pro daný materiál a vyložení nástroje. Zvýšení posuvu udává vznik silnější třísky =více odebraného materiálu a vyšší tepelný přenos z řezu třískou.	-z důsledku vyššího vyložení nástroje dochází při větším opásání nástroje v rozích tvaru (i přes použití většího CAM zaoblení v rozích) a VBD u dna tvaru k zvýšeným vybracím, jež snižují stabilitu řezu. Vyšší řezná rychlost udává rychlejší deformaci materiálu. Tříska je slabší a nedovede plně odvézt zvýšené množství tepla. Více tepla zůstává u řezné hrany.
-------	--	--	--

Mezi hodnotami pokusu 1.-2. a 2.-3. v tab. 10.1.1.2 byly pomocí potenciometrů stroje plynule regulovány hodnoty n a v_f . Hodnoty 1.a 3. jsou mezní kritické. Na tvorbu třísky má vliv především posuv v v kombinaci s hloubkou řezu. (a_p/f_z). V našem případě je štíhlostní poměr $2/0,3=6,7$. Teoreticky by se měl poměr přibližovat co nejbližší číslu 10. Tento vztah ale ovlivňuje mnoho faktorů, proto je spíše orientační. Závěr není podložen tepelným, či silovým měřením v oblasti řezu. Výsledky vycházejí z poznatků teoretických po doplnění zkušeností z pocitu procesu řezání. Řezné hodnoty výrobce nástroje leží přibližně uprostřed mezi mezními hodnotami testu, proto volím řezné parametry doporučené výrobcem, při zvýšení posuvu $v_f = 2700 \text{ mm/min}$ [3].

Řezné podmínky nástroje Ø35R3

Po konzultaci řezných parametrů s prodejcem nástroje vzešlo, že uváděné max. hodnoty katalogu se pohybují za hranicí podmínek použití (vyšší obliba nástrojů pracujících vyššími posuvy na trhu podněcuje konkurenční boj). Rozhodující vliv má vyložení nástroje.

Tab. 10.1.1.3 Řezné parametry Ø35R3, délka vyložení 90 mm.

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min^{-1})	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	1	1350	150	7500	1,4	3500	0,5

10.1.2 Hrubování vložky formy za měkka

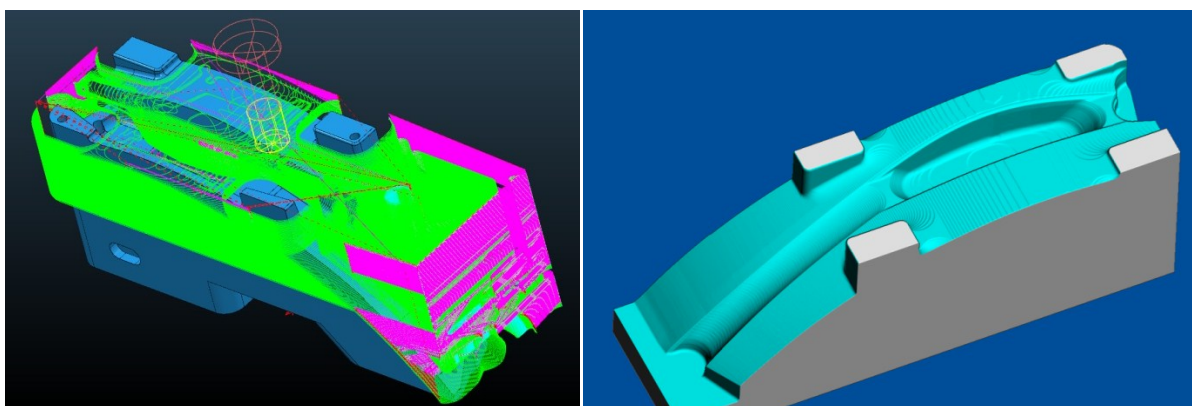
Druhý hrubovací test jsem provedl na nezakalených tvarových vložkách z materiálu 1.2343 ESU.

Charakteristika aplikace

- rozdíl s předchozí aplikací na rámu
- nepravidelný geometrický tvar kapsy = nepravidelné dráhy nástroje a tím i méně optimální překrytí a_e
- zvýšené nároky na dynamiku stroje = rozjíždění a brždění do a z pracovního posuvu v rozích
- zvýšené množství přejezdů, nájezdů a výjezdů z dráhy nástroje = nárůst času obrábění, zvýšení otupení nástroje v kritickém zanořování
- vysoká tuhost upnutí = magnetická deska na celé ploše obrobku
- materiál obrobku legovaná ocel = vyšší řezný odpor

Postup práce

Jelikož se jedná o tvarové vložky výlisku reflektoru auta, byly k dispozici dva shodné tvary, z nichž je jeden zrcadlově otočen. Nástroje testu obráběly vždy jeden dílec. Chlazení obrobku proběhlo jako u předchozího testu rámu. Operací bylo odhrubováno cca 32 kg materialu.



Obr. 10.1.2.1 Dráhy nástroje a model hrubované tvarové vložky



Obr. 10.1.2.2 Hrubování tvarových vložek za měkka.

Řezné podmínky

Pro určení řezných parametrů jsem vycházel z doporučených katalogových hodnot výrobce s ohledem na vyložení nástroje. Tyto doporučené hodnoty jsem v prvním řezu upravil snížením otáček. Nástroj se po dosažení pracovního posuvu rozechvěl, došlo k rozpadu VBD a vylomení jednoho břitu.



Obr. 10.1.2.3 Nástroj Ø35R5 – vylomené lůžko VBD.

Tab. 10.1.2.1 Řezné parametry Ø35R5, délka vyložení 90 mm

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min ⁻¹)	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	1,5	(2000) sníženo na 1600	176	2500	0,4	1000	5

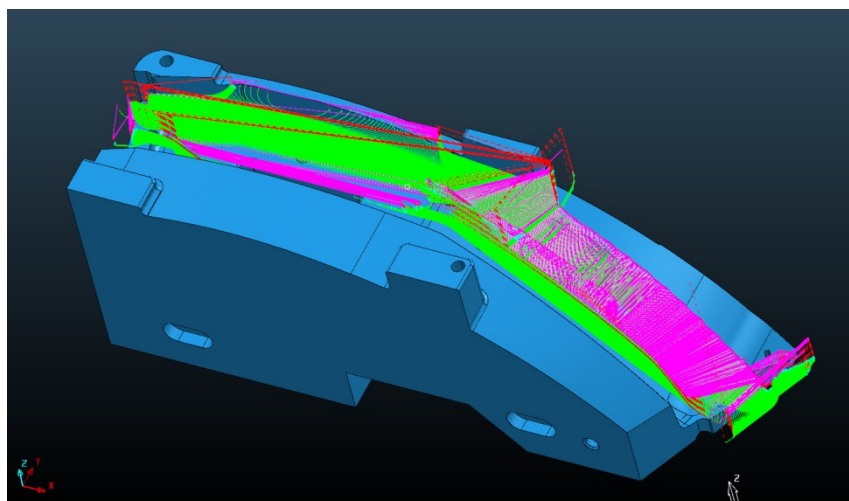
Tab. 10.1.2.1 Řezné parametry Ø35R3, délka vyložení 90 mm

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min ⁻¹)	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	0,7	1350	150	7000	1,3	3500	0,5

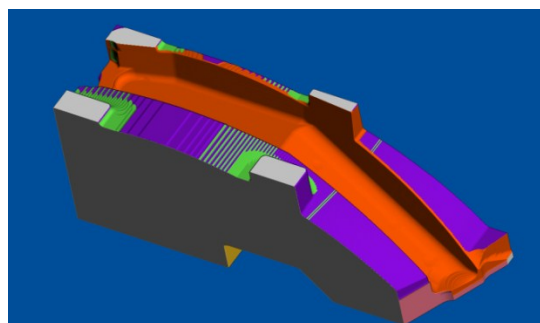
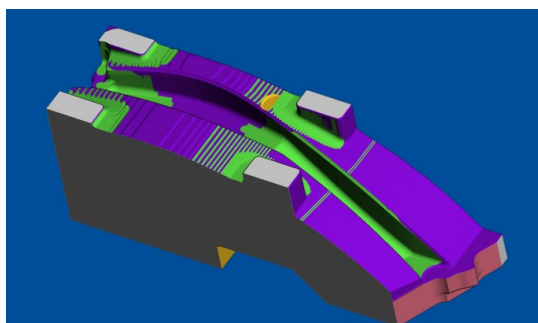
10.1.3 Hrubování vložky formy po kalení

Podmínky této operace a to konkrétně stroj, upnutí nástroje a dílu, chlazení, strategie obrábění a obráběné díly jsou shodné s předešlou operací frézování vložky za měkka, kdy u těchto dílů došlo ke konstrukčním změnám tvaru až po tepelném zpracování. Odlišností je tvrdost materiálu obrobku, jež zvýšil řezný odpor a vyžaduje odlišnou geometrii VBD.

Materiál 1.2343 ESU byl zakalen na tvrdost 52HRC.



Obr. 10.1.3.1 Dráhy nástroje – hrubování kalené vložky.



Obr. 10.1.3.2 Model tvarové vložky – změna tvaru (červeně značená obráběná část).

Řezné podmínky

Obr. 10.1.3.1 Řezné parametry Ø35R5, délka vyložení 90 mm

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min^{-1})	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	1	1400	154	1850	0,33	1000	5

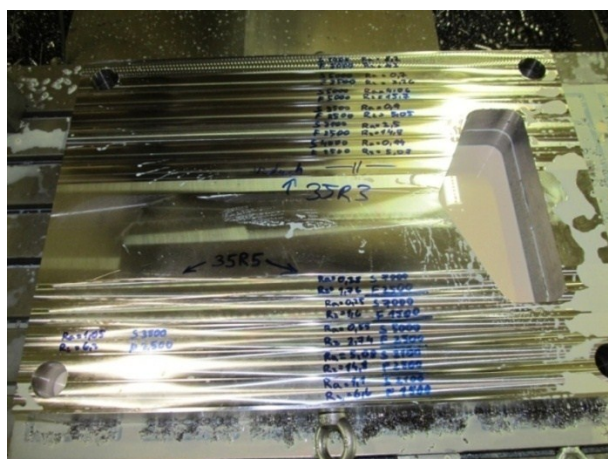
Obr. 10.1.3.2 Řezné parametry Ø35R3, délka vyložení 90 mm

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min^{-1})	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
25	0,4	1090	120	5000	1,15	3500	0,5

10.1.4 Obrábění plochy desky formy

Cílem tohoto testu bylo zjistit optimální řezné hodnoty pro frézování velkých rovinných ploch. Rozměrově velké díly, jako např. polotovary tvarových vložek, plochy ráků, opěrných, vyhazovacích a upínacích desek formy, je nutné zaúhlovat, či vytvořit rovnoběžnost a rozměrovost protějších ploch frézováním. Jde o nahrazení časově náročného broušení ploch. Hlavním kritériem je dosažení dostačující drsnosti povrchu R_a , R_z při zachování produktivity procesu.

Polotovar opěrné desky formy, jež měla přídavek pro obrobení protějších ploch cca 1 mm, jsem podélně frézoval posuzovanými nástroji při postupné změně otáček a posuvu. Pro dodržení rozměrové přesnosti je třeba dvou až tří hodnot a_p při mezioperačním měření. U takto frézovaných dosedacích ploch dílů formy postačuje hodnota drsnosti povrchu cca $R_a = 1 \mu\text{m}$.



Obr. 10.1.4 Obrábění plochy desky formy

10.2 Dokončovací operace

Při dokončování tvarových dílu forem, zejména pro tvary dělicí roviny formy a tvary s úkosem pro odformování vylisku z formy, je kladen vysoký nárok na přesnost obrobení a kvalitu povrchu (frézované plochy tvaru reflektoru automobilu, které se finálně zrcadlově leští, musí mít co nejnížší drsnost povrchu, pro snížení pracnosti leštící operace). Ekonomické hledisko zahrnuje rychlost obrobení ploch a cenu nástroje v závislosti na opotřebení. V provozu je možno použít monolitní tvrdokovovou frézu a dělený nástroj z tvrdokovového tělesa a VBD. I přes úspěšné využívání obou nástrojů pro dokončování, chybí v provozu znalost jednotlivých charakteristik nástrojů při frézování. Níže popsany test pomůže určit vhodnost použití a cenovou stránku nástrojů.

Charakteristika aplikace

- frézování na materiálově stejném a tvarově schodném (zrcadlovém) dílu
- obrábění na jedné CNC frézce – Mikron VCP 600
- tepelný frézovací držák stejný pro oba nástroje = shodné vyložení nástroje 35mm
- řezné rychlosti vycházely z doporučených hodnot výrobce nástroje pro daný materiál, vyložení. Korekce odrážely zkušenosti obsluhy stroje s danou aplikací.
- tvorba programu se podřizovala vždy nejvyšší produktivitě obrábění za zachování příznivých podmínek řezu, strategie obrábění schodná
- přídavek z předchozí hrubovací operace 0,2 mm na stěnu tvaru
- chlazení nástroje vzduchem s olejem přiváděným do řezu vnější tryskou

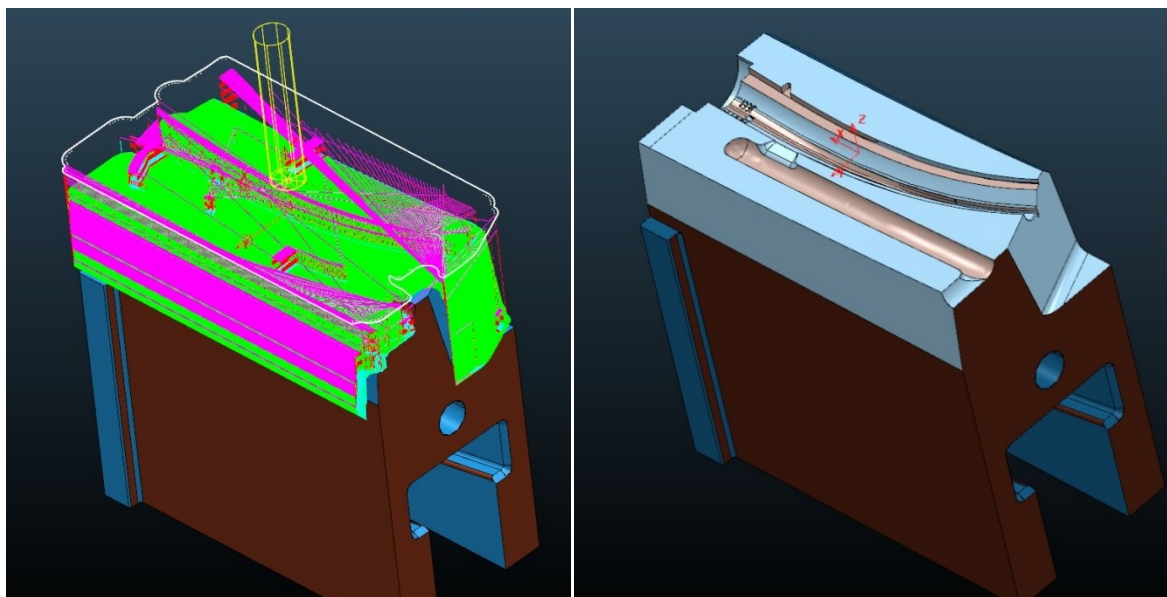
CAM program PowerMill

- strategie prokládaný konstant Z
- tolerance 0,01
- pořadí/nejdříve kolmé
- nájezd/pod úhlem/nc dráhy
- plošné dráhy/3D offset
- čas operace na stroji 1h 33min

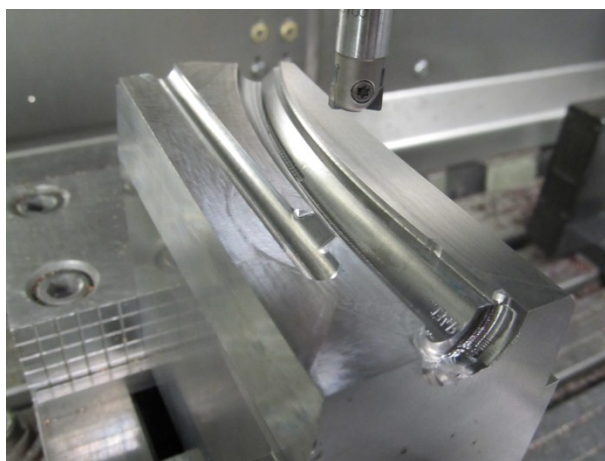
Řezné hodnoty pro oba testované nástroje podobné geometrie bříty jsem zvolil shodné.

Tab. 10.2.1 Řezné parametry Ø10R0,5, délka vyložení 35 mm

a_e (mm)	a_p (mm)	n (min-1)	v_c (m/min)	v_f (mm/min)	f_z (mm)	f sjezdový (mm/min)	úhel zanoření (°)
0,1	0,1	8500	270	2500	0,07-0,14	1000	5



Obr. 10.2.1 Dráhy nástroje a model – dokončování tvarové vložky formy



Obr. 10.2.2 Dokončování tvarové vložky formy

11. Vyhodnocení zkoušek obrábění

Výsledky testu frézovacích nástrojů jsem zhodnotil do jednotlivých kapitol.

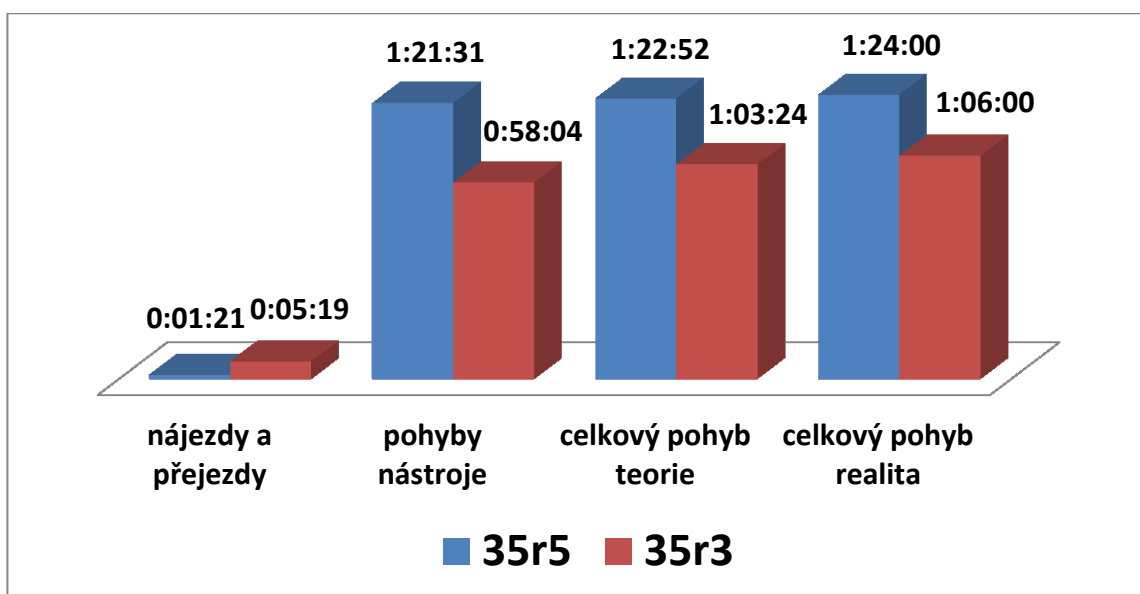
11.1 Časy obrábění

Doba obrábění je závislá na posuvu, přísmvu, použité strategii obrábění a stanovení vedlejších posuvů, přejezdů a sjezdů mimo řez nástroje obrobkem. Při programování bylo cílem vedlejší pohyby nástroje minimalizovat a tím zkrátit celkový čas obrábění. Pomocí funkce „statistika dráhy“ v CAM programu PowerMill jsem získal následující hodnoty pro jednotlivé dráhy nástrojů. CAM program ale nezohledňuje možnosti dynamiky stroje. Vlivem dobrzdňování a rozjíždění nástroje z a na pracovní posuv, či rychloposuv se hodnota skutečného času na stroji liší od vypočteného CAM času.

Hrubování rámu formy

Tab. 11.1.1 Časy obrábění - hrubování rámu formy.

nástroj	Ø35r5		Ø35r3	
nájezdy a přejezdy				
	délka	čas	délka	čas
rychloposuv	2 518	0:00:05	7 124	0:00:14
přírůstkem	0	0:00:00	0	0:00:00
pod úhlem	1 273	0:01:16	12 722	0:05:05
celkové	3 791	0:01:21	19 846	0:05:19
pohyby nástroje				
lineárně	163 439	1:05:22	332 204	0:47:27
oblouky	40 356	0:16:08	74 365	0:10:37
celkové	203 795	1:21:31	406 569	0:58:04
celkový pohyb nástroje				
součet	207 586	1:22:52	426 415	1:03:24
zdvihy	28		56	
skutečný čas na stroji	1:24:00		1:06:00	



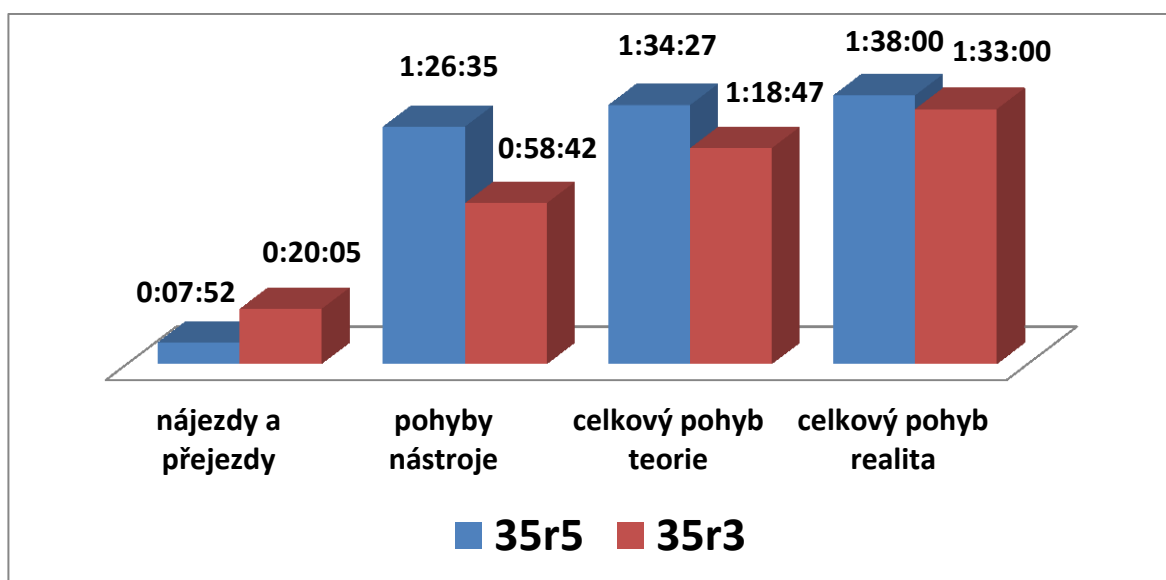
Graf 11.1.1 Časy obrábění - hrubování rámu formy.

Při hrubování rámu formy došlo k odebrání velkého množství materiálu za krátkou dobu a to z důvodu minima přejezdů, nájezdů a výjezdů z dráhy nástroje. Díky pravidelnému geometrickému tvaru kapsy byly spočítány pravidelné dráhy nástroje a tím i optimálnější překrytí a_e . Minimum zanořování a nízký počet oblouků dráhy klade nízké nároky na dynamiku stroje. Nástroj Ø35r5 pracuje s vysokou hodnotou a_p , ale při nízkém pracovním posuvu. Nástroj Ø35r3 pracuje zvýšeným posuvem (oproti konvenčnímu nástroji s kruhovou VBD až trojnásobným), ale pro zachování příznivého řezného odporu se snížila hodnota a_p o polovinu. Z tabulky 11.1.1 je u nástroje Ø35r3 patrný nárůst délek drah oproti nástroji Ø35r5, ale díky vysokému posuvu jsou pracovní časy v porovnání nižší. Pravidelnost drah a velký rozměr frézované kapsy umožňuje delší setrvání nástroje v pracovním režimu s minimem dynamického snížení posuvů. Nástroj Ø35r3 je pro tuto aplikaci výrazně produktivnější.

Hrubování vložky formy za měkka

Tab. 11.1.2 Časy obrábění - hrubování vložky formy za měkka.

nástroj	Ø35r5		Ø35r3	
nájezdy a přejezdy				
	délka	čas	délka	čas
rychloposuv	61 783	0:02:03	166 009	0:05:32
přírůstkem	608	0:0:36	1 435	0:00:34
pod úhlem	5 085	0:05:05	34 606	0:13:50
další	303	0:00:07	968	0:00:08
celkové	67 779	0:07:52	203 018	0:20:05
pohyby nástroje				
lineárně	152 001	1:00:48	270 471	0:38:38
oblouky	64 479	0:25:47	140 458	0:20:03
celkové	216 480	1:26:35	410 929	0:58:42
celkový pohyb nástroje				
součet	284 259	1:34:27	613 947	1:18:47
zdvihy	330		1039	
skutečný čas na stroji	1:38:00		1:33:00	



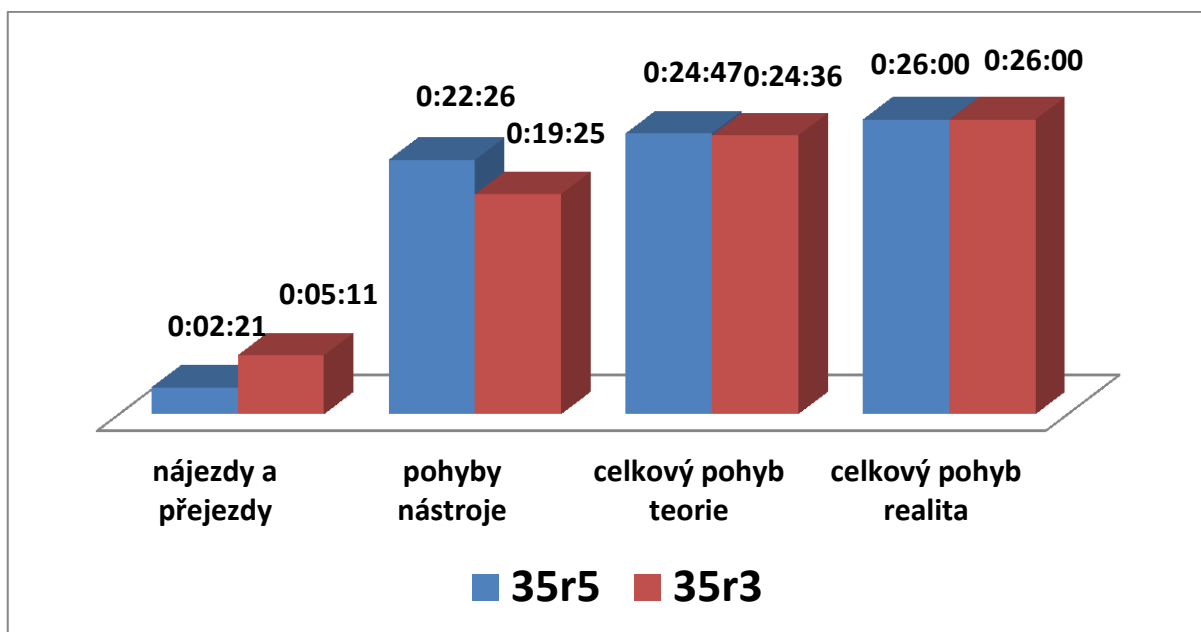
Graf 11.1.2 Časy obrábění - hrubování vložky formy za měkka.

Tato operace frézování tvarového dílu je značně rozdílná s předchozí aplikací hrubování rámu. Nepravidelný geometrický tvar vložky vyžaduje nepravidelné dráhy nástroje a tím i méně optimální překrytí a_e . Výpočet drah je složitější, roste zde množství přejezdů, nájezdů a výjezdů z dráhy nástroje. Rozjíždění a brždění posuvů v rozích má za následek zvýšený nárok na dynamiku stroje. Tab 11.1.2 udává u nástroje Ø35r3 nárůst pomocných posuvů jako jsou nájezdy a přejezdy. Je to výsledek tvarové složitosti dílu, kdy CAM program při výpočtu drah pro tento nástroj s nízkou hodnotou a_p rozdělil dráhy na více úseků a hladin a tím navýšil podíl rychloposuvů, sjezdů a výjezdů z dráhy. Velký vliv na délku sjezdů má samotná konstrukce nástroje. Ta díky míře odlehčení středu čela nástroje, a konstrukci VBD, určuje úhel zanoření frézy do materiálu v jednotlivých hladinách operace. Úhel $0,5^\circ$ oproti 5° značně protahuje dráhu sjezdu. Zásadní je také u nástroje Ø35r3 oproti Ø35r5 navýšení skutečného času na stroji. Doba za kterou se nástroj dostane do a z požadovaného posuvu, je ovlivněna zrychlením a zpomalením pohonů posuvů stroje. Tvarový dílec vyžaduje při výpočtu drah mnoho oblouků a návratů do pracovních pozic, které navyšují celkový pracovní čas operace v závislosti na dynamice stroje. Doba obrábění se proto u obou nástrojů téměř vyrovnala.

Hrubování vložky formy po kalení

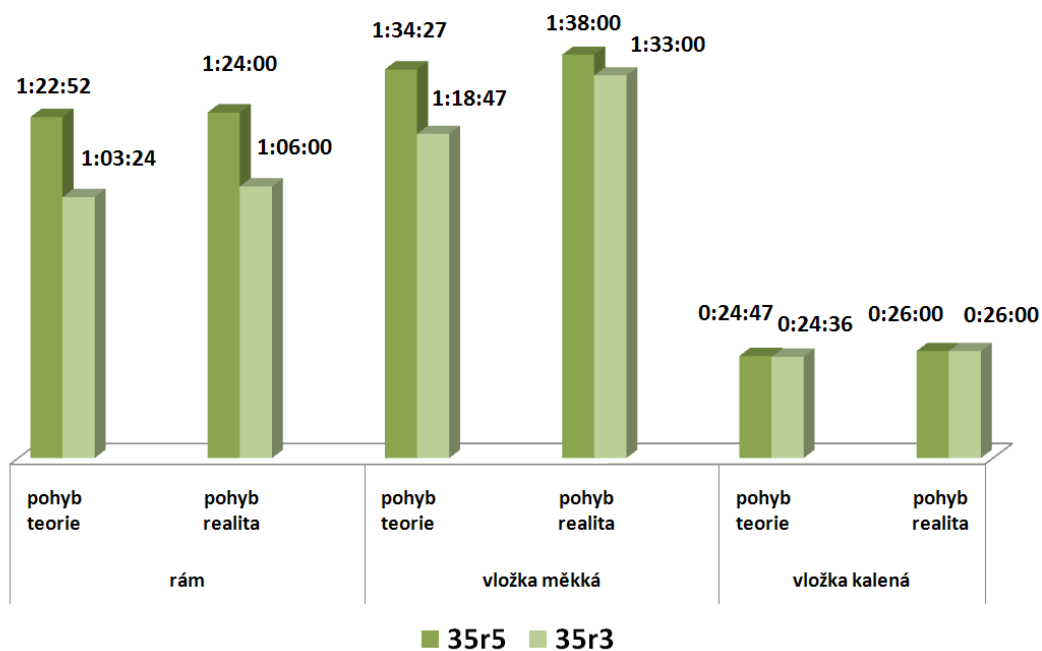
Tab. 11.1.3 Časy obrábění - hrubování vložky formy po kalení.

nástroj	Ø35r5		Ø35r3	
nájezdy a přejezdy				
	délka	čas	délka	čas
rychloposuv	20 267	0:00:40	50224	0:02:20
přírůstkem	486	0:00:29	1463	0:00:38
pod úhlem	1 962	0:00:57	109	0:01:42
další	1 828	0:00:15	2584	0:00:31
celkové	24 543	0:02:21	54380	0:05:11
pohyby nástroje				
lineárně	38 469	0:20:47	94965	0:18:59
oblouky	3 039	0:01:38	2124	0:00:25
celkové	41 508	0:22:26	97089	0:19:25
celkový pohyb nástroje				
součet	66 051	0:24:47	151469	0:24:36
zdvihy	288		611	
skutečný čas na stroji	0:26:00		0:26:00	



Graf 11.1.3 Časy obrábění - hrubování vložky formy po kalení.

Tento test hrubování části tvaru již zakalené tvarové vložky formy je z velké části podobný jako frézování nezakaleného dílu. Výsledky v tab. 11.1.3 mají taktéž podobný charakter. Test má význam zejména při hodnocení ostatních kritérií jako např. opotřebení VBD a zatížení stroje.



Graf 11.1.4 Časový přehled hrubovacích strategií.

Graf 11.1.4 uvádí nárůst času obrábění vlivem dynamiky stroje u všech tří operací, který je úměrný složitosti obráběného tvaru. U nástroje Ø35r5 je zvýšení času nepatrné. Dráha nástroje Ø35r3 obsahovala více sjezdů s nájezdy a přejezdy, proto je nárůst času mnohonásobně vyšší. Tento rozdíl u nástroje Ø35r3 lze snížit programováním stylu drah místo offset vše na offset model. Dráhy nástroje pracují bez sjezdů, nástroj v jednotlivých drahách najíždí do tvaru mimo materiál. Tato strategie hrubování má ale více přejezdů rychloposuvem s úměrným množstvím přírůstkových nájezdů. Lze použít jen na otevřené tvary tvárníků. Kapsy a zavřené tvárnice nedovolují nájezd z venku.

11.2 Drsnost povrchu a rozměrová přesnost

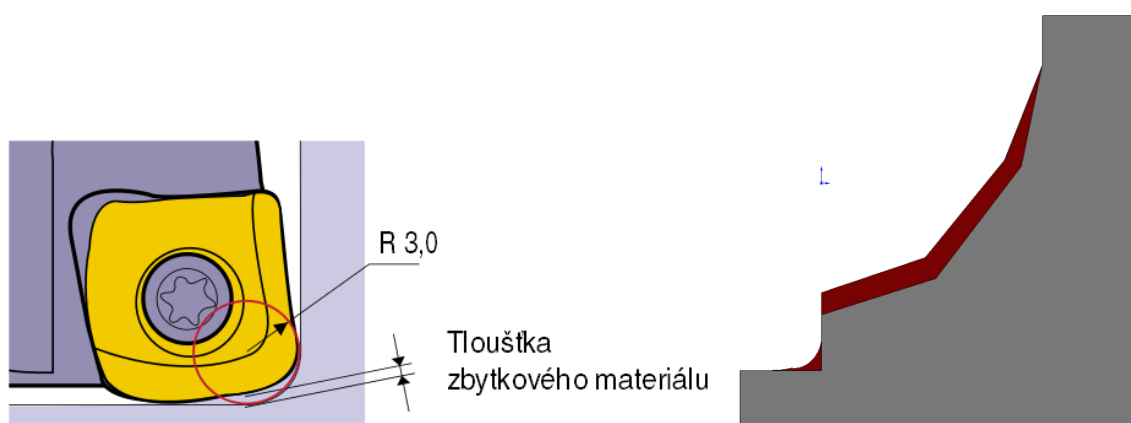
Tab.11.2.1 Drsnost povrchu a rozměrová přesnost – hrubovací operace

nástroj	Ø35r5	Ø35r3
rám	Ra =4,2 µm Rz =22,37 µm Rozměrová odchylka +0,1mm/s	Ra =6,5 µm Rz =38,5 µm Rozměrová odchylka +0,33mm/s
vložka měkká	Ra =4,5 µm Rz =15,51 µm Rozměrová odchylka +0,13mm/s	Ra =7,1 µm Rz =30,4 µm Rozměrová odchylka +0,4mm/s
vložka kalená	neměřeno	neměřeno
rovinná plocha	optimální řezné podmínky v závislosti na drsnosti povrchu Ra =1,05 µm Rz = 6,3 µm n=3500 min ⁻¹ f= 2500 mm/min	optimální řezné podmínky v závislosti na drsnosti povrchu Ra =0,9 µm Rz = 5,05 µm n= 3500 min ⁻¹ f= 2500 mm/min

Rozměrová odchylka vzniká odpružením a otupením nástroje vlivem řezného odporu vycházejícího z geometrie břitu a použitých řezných podmínek je vždy kladná. Příliš vysoká odchylka a vysoká hodnota drsnosti Ra je ale nepřijatelná při frézování méně přesných, nebo odlehčených tvarů na čisto. Zde sice není z hlediska funkce tvaru kladen nárok na kvalitu povrchu a nutnost použití dokončovacího nástroje, ale v rámci výrobní tolerance a estetického vzhledu povrchu obrobené plochy je výhodnější použití nástroje Ø35r5. Ovšem při frézování obecných tvarů typu oblouků a šikmin je výhodnější použít nástroj

Ø35r3, který díky nižší hodnotě a_p vytváří více hladinových stupňů a tím lépe kopíruje reliéf tvaru a nezanechává nadbytečný materiál pro následný dokončovací nástroj.

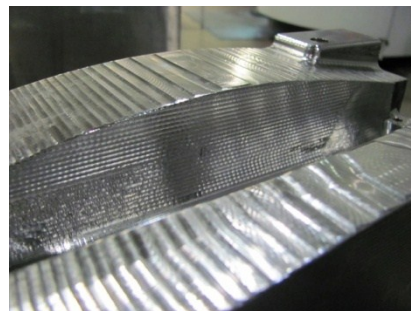
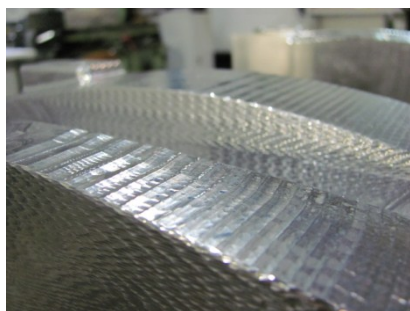
Mezi hlavní rozdíly obou nástrojů patří také hodnota zbytkového materiálu ovlivněna geometrií VBD. Kruhová VBD má nulový zbytkový materiál v rádiu VBD. VBD nástroje Ø35r3 se programuje jako r3, ale rozdíl od skutečného profilu VBD představuje zbytková hodnota 0,5mm.



Obr. 11.2.1 Tloušťka zbytkového materiálu [6]

Při frézování tvarů charakteru svislých a vodorovných ploch je tato hodnota mizivá. Měřitelná je u tvarů jejichž profil zahrnují oblouky a úhly $< 45^\circ$, nebo rohy u dna kapsy. Tento zbytkový materiál, který může být až 0,5mm, je překážkou pro dokončovací nástroj zejména po zakalení materiálu. Stejný problém je i s materiálem hodnoty 0,4mm ponechaným po odpružení nástroje.

U dosedacích rovinných ploch desek a obvodů tvarových vložek formy postačuje k zajištění funkce ve formě, nebo následnému najíždění výchozích bodů na strojích a kontrole rozměrů, hodnota drsnosti povrchu přibližně $R_a = 1\mu m$. Otáčky a posuv nástrojů vzhledem k podobnému materiálu VBD vyšly za zachování dostatečné hodnoty R_a stejné. Na poslední kalibrovací třísku je výhodnější použít chlazení emulzí. Tříska se nenatavuje na okolní plochy. Jedná se o a_p do 0,1mm, kde vzniká minimum tepla a tudíž tepelných šoků pro nástroj. Řezný odpor je nízký, materiál se tedy nemusí změkčovat. Z hlediska vyššího opotřebení třením na hřbetě a možnosti kruhovou VBD pootáčet, je vhodné pro tuto práci použít nástroj Ø35r5.

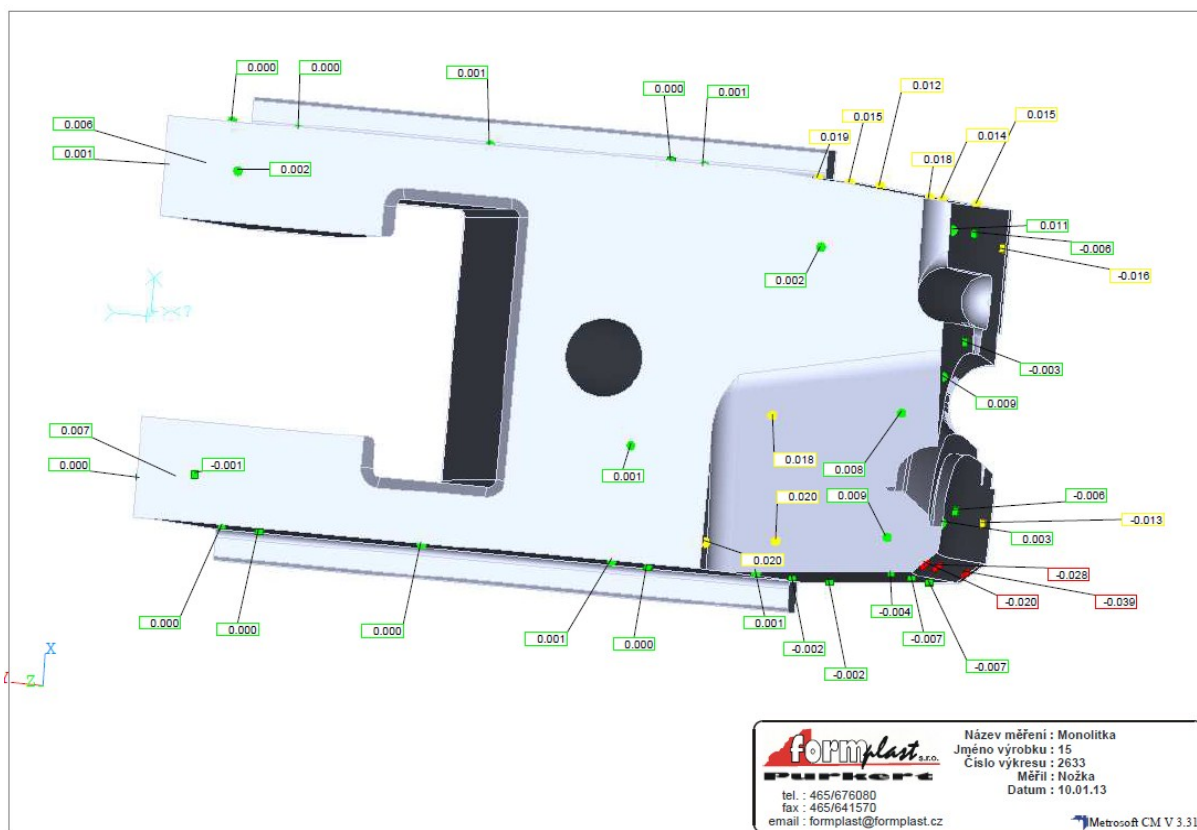


Obr. 11.2.2 Reliéf obrobeneho povrchu nástroji Ø35r3 a Ø35r5

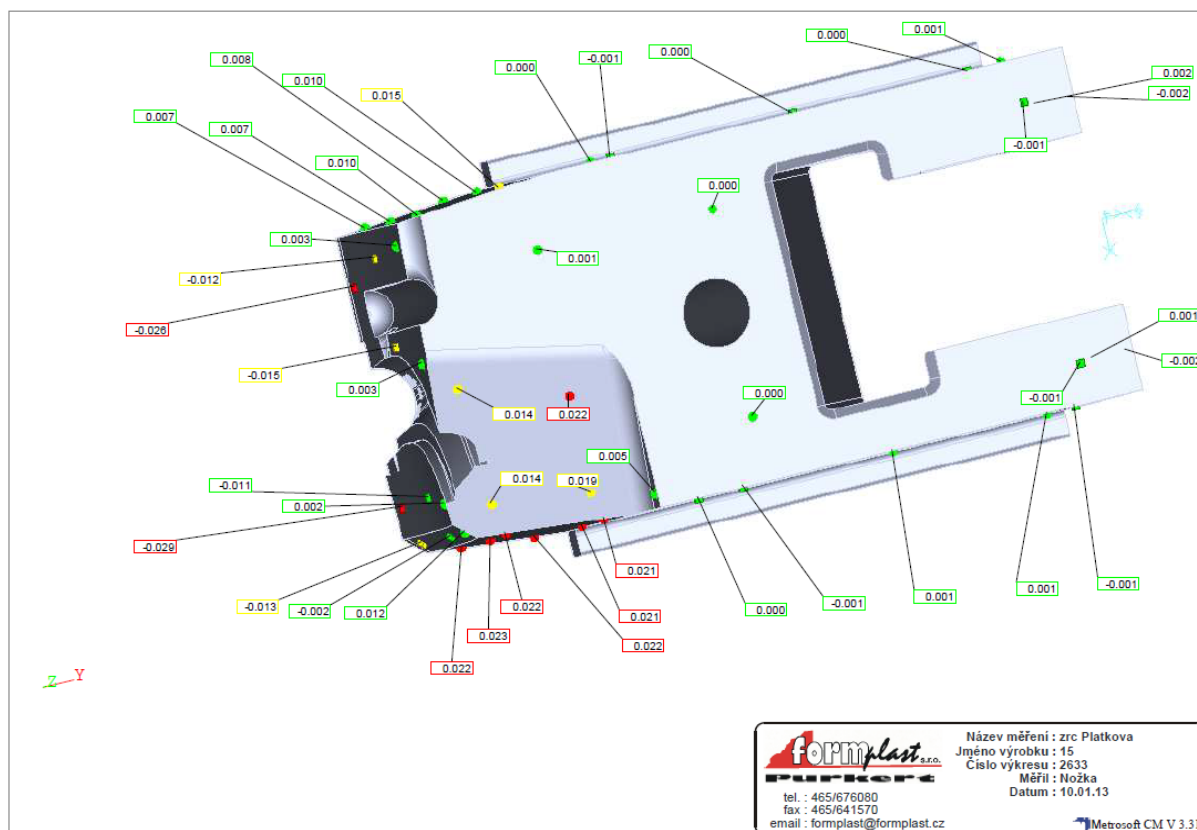
Tab.11.2.2 Drsnost povrchu a rozměrová přesnost – dokončovací operace

nástroj	Ø10r0,5 – monolit	Ø10r0,5 – VBD
drsnost povrchu	Ra=0,88 µm Rz=4,75 µm	Ra=0,58 µm Rz=3,05 µm
rozměrová odchylka výrobní tolerance 0,02mm	nejvyšší odchylka od jmenovitého rozměru je -0,039mm	nejvyšší odchylka od jmenovitého rozměru je -0,029mm

Válcová monolitní fréza dokončila povrch tvaru s vyšší hodnotou drsnosti povrchu než nástroj s VBD. Výsledek přikládám k vybracím soustavy obrábění, kdy monolitní tuhý nástroj přenáší chvění z nepřesnosti vedení stroje na povrch obrobku. Nástroj s VBD pohltí část chvění uložení plátku v držáku. Jistou roli zde hraje také tvrdost materiálu monolitu a houževnatost materiálu držáku VBD. Rozměrová přesnost je až na červeně vyznačené body na měrových protokolech dílců obr. 11.2.3 a obr. 11.2.4 dostatečná a u obou případů téměř srovnatelná.



Obr. 11.2.3 Měrový protokol fréza Ø10r0,5 – monolit.



Obr. 11.2.4 Měrový protokol fréza Ø10r0,5 – VBD

11.3 Teplo vzniklé při frézování

Tab. 11.3.1 Teplo vzniklé při frézování

operace	rám		vložka - měkká		vložka - kalená	
nástroj	Ø35r5	Ø35r3	Ø35r5	Ø35r3	Ø35r5	Ø35r3
výchozí teplota	24°C	24°C	23,8°C	22,7°C	23°C	23,5°C
Výsledná teplota nástroje	57°C	40,3°C	48°C	40,1°C	35°C	29°C
rozdíl výsledné teploty a výchozí teploty nástroje	33°C	16,3°C	24,2°C	17,4°C	12°C	5,5°C
Výsledná teplota obrobku	71°C	56°C	60,3°C	51°C	42°C	31°C
rozdíl výsledné teploty a výchozí teploty obrobku	47°C	32°C	36,5°C	28,3°C	19°C	7,5°C

Teplo v kritickém bodě řezu ovlivňují: -tepelná vodivost materiálu obrobku – dobrá

-tepelná vodivost VBD – daná výrobcem

-geometrie bříty – daná výrobcem

-řezné podmínky – upravené katalogové podmínky

Pokud je koncentrované teplo v řezu vysoké, dochází k narušení vlastností bříty a tím k snížení životnosti VBD. Snahou efektivního obrábění je zachovat výhodnou velikost tepla pro změkčení materiálu obrobku v řezu a ostatní teplo odvézt třískou. Měření teploty proběhlo pouze na ploše obrobku a na nástroji, proto z hodnot mohu jen předpokládat tvorbu, průběh a přenos tepla v místě řezu a bezprostředně tepelně ovlivněné oblasti.

Oba řešené nástroje mají pozitivní geometrii bříty (snadnější řez materiálu bez zvýšené deformace), Ø35r3 navíc pracuje s utvařečem třísek, který snižuje tření třísky o čelo bříty. Z tab 11.3.1 je patrné, že u nástroje Ø35r3 díky této kombinaci a také díky nižší řezné rychlosti, kdy je materiál obrobku pomaleji deformován, vzniká méně tepla. Tomu také napomáhá 3x vyšší pracovní posuv (než u nástroje Ø35r5), při kterém vznikají silnější třísky s lepším odvodem tepla. Samozřejmě řezná rychlost nesmí překročit určitou spodní hranici, kdy je materiál v řezu, jak jsem se již zmiňoval, změkčován. Tab. 11.3.1 zobrazuje výslednou teplotu na nástroji vždy nižší než výslednou teplotu obrobku. To je příznivý důkaz nižší vodivosti VBD.

Kalený a legovaný materiál vložky má oproti materiálu rámu vyšší tvrdost. Tvrdý kalený materiál má vyšší deformační odolnost, což má za následek vznik tepla. Tvorbu tepla při obrábění kaleného dílu jsem snížil nižší řeznou rychlostí v_c . Velký vliv na výsledný nárůst tepla má také tvar obráběného dílu. U rámu je nástroj stále v řezu s minimem výjezdů, které celé soustavě neumožní chladnutí. Naproti tomu složitý tvar vložek vyžaduje výjezdy a přejezdy mezi drahami, jež přispívají ke snížení teploty soustavy v průběhu operace.

Vznikající teplo z obrábění má hlavní nepříznivý vliv na řeznou hranu nástroje. Vedlejší negativní vliv pozoruji z oblasti geometrické změny a objemové roztažnosti soustavy nástroj-vřeteno a obrobek-stůl stroje. Ta způsobí až nedodržení předepsaných výrobních tolerancí. Při hrubování tvarů je obrobek teplem z řezu zdeformován. Dále pak tato chladnoucí soustava při dokončování rozměrů tvaru neudrží požadovaný geometrický tvar a rozměr. Tento jev se opakuje i na obráběcím stroji. Teplo přechází do vřetena stroje a na druhé straně obrobkem, upínacím systémem do konstrukce stroje. Stroj je deformován a s ním snížena jeho přesnost.

Pokud by tolerance rozměrů rámu formy nevyžadovala dokončení po hrubování nástrojem Ø35r5, projevila by se níže vypočtená nepřesnost délkové roztažnosti.

Délková změna nástroje Ø35r5 při hrubování rámu [18].

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_0 \quad \alpha \text{ oceli v teplotním intervalu } 20-100^\circ\text{C} : 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}^\circ\text{K})$$

$$\Delta L = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 33 \cdot 90 \quad \Delta T = 33^\circ\text{C}, \quad L_0 = 90\text{mm}$$

$$\Delta L = \underline{0,034 \text{ mm}}$$

Délková změna nástroje Ø35r5 s vyložení 90mm při hrubování rámu je 0,034mm.

Délková změna obrobku rámu při hrubování nástrojem Ø35r5 [18].

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_0 \quad \alpha \text{ oceli v teplotním intervalu } 20-100^\circ\text{C} : 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}/(\text{m}^\circ\text{K})$$







$$\Delta L = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 47 \cdot 75 \quad \Delta T = 47^\circ\text{C}, \quad L_0 = 75\text{mm}$$

$$\Delta L = \underline{0,041 \text{ mm}}$$

Pokud sečtu délkový nárůst nástroje a obrobku, tak výsledek součtu tepelné roztažnosti není v přesné výrobě forem a přípravků zanedbatelný. Naopak, je třeba při dokončovacích operacích s tepelným ovlivněním výroby počítat a pracovat s nástroji a obrobky s ustálenou teplotou.

11.4. Hodnocení třísky

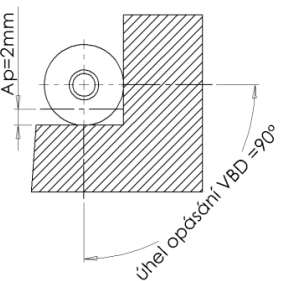
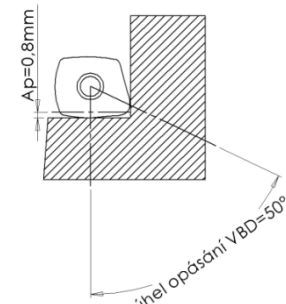
Tab. 11.4.1 Třísky jednotlivých operací a nástrojů

	
rám Ø35r3 – silná, tepelně ovlivněná tříška	rám Ø35r5 – krátká, silná, zabarvená tříška = vysoké teploty v řezu
	
vložka měkká Ø35r3 – tříška méně zabarvená = nižší teplota v řezu než u frézování rámu	vložka měkká Ø35r5 – stejné jako u Ø35r3, tříška širší
	
vložka kalená Ø35r3 – s ohledem na řezný odpor a výslednou teplotu dokazuje zabarvení třísky dobrý odvod tepla třískou	vložka kalená Ø35r5 – dobrý odvod tepla třískou, tříška kratší a silnější

11.5 Silové zatížení stroje a opotřebení

Síla řezání, která řezný odpor při frézování překonává, je výslednicí mnoha složek. Tyto složky z odečtené hodnoty odporu řezání na panelu stroje nerozliším, ale mohu posoudit silový poměr vnikajícího břitu nástroje a odpor materiálu obrobku v reálném čase a v aktuálním bodě řezu. Tím získám přehled o namáhání celé frézovací soustavy a vhodnosti nástroje, řezných podmínek, vlivu otupení na daném dílci obráběné danou strategií frézování.

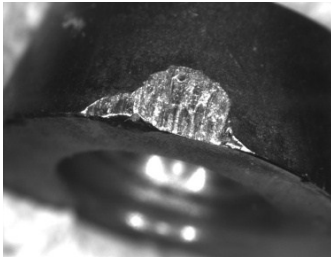
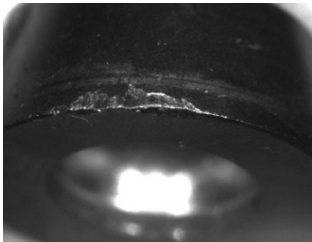

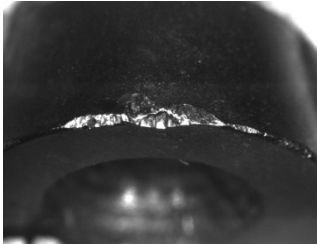

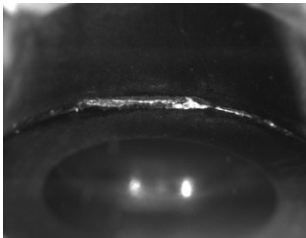
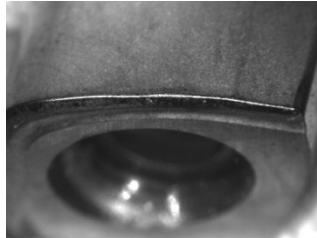
Tab. 11.5.1 Hodnocení řezného odporu

Ø35r5 rám	<p>35-65%</p> <p>Tato aplikace je založena na hloubce řezu $a_p=2\text{mm}$ a velkém úhlu opásání kruhové VBD v řezu a to zejména při frézování podél stěny kapsy tvaru. 65% odporu je v místě opásání VBD v kombinaci s horizontálním opásáním frézovací hlavy v rohu kapsy a při zapichování do hladiny řezu.</p>	
Ø35r3 rám	<p>20-40%</p> <p>Úhel opásání je zde podstatně menší. VBD je od stěny tvaru částečně odkloněna o úhel nastavení. Proto je řezný odpor frézování nižší. Vyšší odpor je pozorovatelný při polovičním opásání průměru frézovací hlavy v rozjezdu frézování nové hladiny tvaru.</p>	
Ø35r5 vložka měkká	<p>20-45%</p> <p>Legovaný materiál tvarové vložky vyžadoval vzhledem k vyložení nástroje snížení řezné rychlosti v_c a hloubky řezu a_p. Poto došlo ke snížení řezného odporu.</p>	
Ø35r3 vložka měkká	<p>15-35%</p> <p>Stejně korekce v_c a a_p jako u předešlého nástroje. Řezný odpor je díky odlišné geometrii a pracovním podmínkám nástroje nižší.</p>	
Ø35r5 vložka kalená	<p>20-35%</p> <p>Tvrký materiál, který má vysoký přetvárný odpor, je možno bezpečně obrábět s nízkým řezným odporem a bez vylamování řezné hrany následkem vybrací soustavy frézování. Podmínkou je, vzhledem k vyložení nástroje, snížit řezné podmínky, především v_c.</p>	

Ø35r3 vložka kalená	10-20% Díky použití VBD s geometrií břitu pro těžce obrobitelné materiály, úpravou hodnot jako u Ø35r5 a pracovnímu režimu nástroje, naměřen nejnižší řezný odpor testu. Zde doporučuji pracovní posuv a hloubku řezu zvýšit a zachovat vyšší produktivitu práce.
---------------------	--

Řezné hodnoty jsou oproti neměnnému materiálu obrobku a nástroji v tomto testu klíčové. Z hlediska nejvyšší produktivity a minimálních výrobních nákladů, jako je opotřebení, musím udržet nejvyšší možnou hloubku řezu a_p a posuvovou rychlost v_f . Snížení řezné rychlosti, v závislosti na podmínkách a aplikaci obrábění, je právě rozhodující při zachování životnosti nástroje.

Tab. 11.5.2 Opotřebení VBD

nástroj	Ø35r5	Ø35r3
<div data-bbox="341 884 703 1209">rám</div> <div data-bbox="341 1209 703 1489">otočení VBD</div>	 	
vložka měkká		
vložka kalená		

Opotřebení VBD je úměrné množství obrobeného materiálu. Kruhová destička oproti VBD proměnného tvaru vykazuje vyšší míru opotřebení. Při frézování kaleného materiálu je s ohledem na nízké opotřebení VBD možno pracovní posuv zvýšit.

Dokončovací nástroje navykávaly zřetelné opotřebení bříty.

11.6 Ekonomické hledisko

Tab. 11.6.1 Ekonomické hledisko – hrubovací nástroje [19].

hrubovací nástroj Ø35r5 – cena frézovací hlavy a VBD	
SDH-4350-R10-M16	6 171 Kč/ks
VBD RDMW1004MOT – JC8015	160 Kč/ks
hrubovací nástroj Ø35r3 – cena frézovací hlavy a VBD –M/MR	
KU 035.001	7 230 Kč/ks
XDMX 08T310R-M TT9080	158 Kč/ks
XDMX 08T310R-MR TT9080	170 Kč/ks

Uvedené ceny jsou po slevě a bez DPH

Z tab. 11.6.1 je patrné, že rozdíl v ceně VBD není nijak rozhodující. Ceny frézovacích hlav se liší o 1 059 Kč/ks ve prospěch nástroje Ø35r5. Životnost nástroje je po nalezení optimálních řezných parametrů v rámci aplikace a použitém materiálu obrobku závislá především na programátorovi a obsluze stroje. Nejčastější chyby jsou např. odlišně najetý výchozí bod na obrobku oproti výchozímu bodu stanovenému programátorem, zpožděná kontrola otupení VBD, nízké přejezdy nad upínkami, nedostatečně dohrubovaný materiál tvaru. Z tohoto pohledu není cenový rozdíl také zásadní, je ale třeba se vyvarovat chyb. Konstrukce kruhové VBD nástroje Ø35r5 bez aretace umožňuje VBD minimálně 4x a při včasné kontrole až 6x otočit. Tato vlastnost vyššího počtu použití kruhové VBD dělá nástroj Ø35r5 z pohledu ceny VBD ekonomicky výhodnějším.

Tab. 11.6.1 Ekonomické hledisko – dokončovací nástroje [19].

dokončovací nástroj Ø10r0,5 – monolit		
RTD1005	860 Kč/ks	
oprava tupého nástroje	broušení - 252 Kč/ks	povlak – 95 Kč/ks
oprava celkem	347 Kč/ks	
dokončovací nástroj Ø10r0,5 - VBD		
RNMS-100025U-S10C	4 300 Kč/ks	
VBD HRM-100-R05 – F JC 6102	610 Kč/ks	

Uvedené ceny jsou po slevě a bez DPH

Při cenové rozvaze je nutno k ceně VBD připočíst určité procento z ceny držáku VBD. Tento držák, pokud nedojde k chybě obsluhy stroje, má v rámci dokončovacího, nesilového pracovního zařazení vysokou životnost. Po sedmnácté výměně VBD je oproti ceně monolitu držák již zaplacen. Ve prospěch monolitní válcové frézy vystupuje možnost opakované renovace nástroje přebroušením a povlakováním. Cena opravy činí 57% ceny VBD a 40% ceny nového monolitu. Samozřejmě nástroj musí být otupen tak, aby byla renovace ještě možná. Výhoda nástroje s VBD je opakovatelná výměna VBD bez nutnosti vyjmutí nástroje ze vřetena stroje a v případě tepelného upínače neodepínání nástroje z držáku. To šetří čas výměny nástroje i životnost tepelných upínačů.

12. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení využívané nástrojové základny pro CNC frézování v provozu výroby forem pro vstřikování plastů. Z široké palety používaných nástrojů jsem vyzvedl hrubovací a dokončovací nástroje, jež v celkovém pracovním čase výroby zabírají převažující část. Porovnávané nástroje jsou pro jednotlivé strategie obrábění konstrukčně a pracovníě odlišné. Právě to vyžaduje znalost chování těchto nástrojů ve výrobě firmy, znalost použití, výhody, nevýhody při různých strategiích a určení vedlejších nezanedbatelných vlivů při obrábění. Zkoušky probíhaly v reálném čase za provozu výroby, na dílcích určených pro obrobení.

Ve všech výrobních operacích testu je časově produktivnější nástroj Ø35r3. Ostatní výsledky práce lze konkrétněji shrnout do vhodnosti použití testovaných nástrojů pro určité operace a strategie obrábění.

Nástroj Ø35r5 - frézování tvarů na čisto (nízká hodnota odpružení nástroje, nulový zbytkový materiál, nižší drsnost povrchu), složité uzavřené tvary (nízký podíl zanořování nástroje do materiálu), úhlování ploch dílců a operace se zvýšeným opotřebením VBD (možnost otáčení VBD)

Nástroj Ø35r3 - frézování s velkým vyložení nástroje (nízký řezný odpor), tvorba pravidelných kapes a tvarů (vysoký pracovní posuv), výroba otevřených jednodušších tvarů strategií „offset model“ (nízký nárůst času vlivem dynamiky stroje a zanořování), obrábění dílců určených pro následné dokončení bez možnosti vychladnutí materiálu po hrubování (nižší teplota soustavy po frézování).

Doporučuji zvýšení hodnoty a_p a v_f u obou hrubovacích nástrojů při frézování kaleného materiálu. Dosavadní řezné podmínky vykazují s přihlédnutím k použité pevné geometrii bříty u nástroje Ø35r3 nízký řezný odpor. Katalogové podmínky je nutno brát spíše jako odrazové. Hrubování nástrojem Ø35r5 do nezakaleného materiálu vyžadovalo snížení v_c .

Dokončovací nástroje Ø10r0,5 monolit a nástroj s VBD vykazují přibližně stejné výsledky při obrábění. Nástroj s VBD je díky nízké drsnosti povrchu vhodný pro dokončování tvarů určených pro následné leštění. I přes to, že mohu monolitní nástroj opětovně renovovat broušením, se přikláním pro použití děleného nástroje s VBD, pro jeho rychlou výměnu plátku a vyšší životnost.

Vedle výše uvedených pracovních poznatků nástrojů v podnikové výrobě, chci vyzvednout vedlejší přínos této práce. Přispěním obsluh strojů a technologie výroby při realizaci pokusů, se prohloubil jejich zájem o problematiku obrábění a o řešení poznatků řezání mezi břitem a materiálem v praxi. To vše může zkvalitnit a zproduktivnit výrobu forem.

13. Seznam použité literatury

- [1] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů, 1.část*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008, 148 s. ISBN 978-80-248-1053-9
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] SECO TOOLS CZ, s.r.o. *Řezné geometrie CZ/SK – 2013* - odborný seminář, VŠB-TU fakulta strojní Ostrava, 2.4.2013. [online]. Částečně dostupný z URL: <http://www.secotools.com/cs/CZ-Czech-Republic/Aktuality/Patrick-De-Vos---Odborny-cyklus/>
- [4] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praxe*. Scientia, Praha, 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [5] DIJET. *Product news No. 321, Super Diemaster, 22s*
- [6] TAEGU TEC ČR s.r.o. *Metalworking cutting tools*. 2012/2013. [online]. [cit. 2013-01-02], Dostupný z URL:<http://www.taegutec.cz/tcat/pouziti.php?produkt=2>
- [7] Internet, DIJET. *Product DHF*, Částečně dostupný z URL: <http://www.endmill.com.tw/index.php?lang=en>
- [8] DIJET. *Product news No. 358, Mirror series, 50s*
- [9] MIKRON. *Návod k obsluze, vertikální obráběcí stroj VCP/UCP 600*, 222.30.80.001, vydání 08.00
- [10] AGIE CHARMILLES. *Návod k obsluze ,Obráběcí centrum Mikron VCE Pro*, 222.05.80.110, verze březen 2008
- [11] Internet, JKZ Bučovice a.s. *Ocel nástrojová pro práce za tepla W. Nr. 1.2343ESU*. [online]. [cit. 2013-02-11]. Dostupné z URL: <http://www.jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12343esu>

- [12] Internet, JKZ BUČOVICE a.s. *Konstrukční ocel ČSN 12 050*. [online]. [cit. 2013-02-11].
Dostupné z URL: <http://www.jkz.cz/produkty/konstrukcni-ocel-12-050>
- [13] Internet. CARL ZEISS. *Handysurf E 35B, malý přenosný drsnoměr*. [online].
[cit. 2013-01-18]. Dostupné z URL:
http://www.merici-pristroje.cz/fileadmin/user_upload/Zeiss_TSK/Handysurf_E_35B_cz.pdf
- [14] PECHÁČEK, M., *Hodnocení kvality povrchu při řezání u technologie AWJ a WJM*, VUT Brno. 2010, 98s., vedoucí diplomové práce Ing. Slaný, M.
- [15] TICHÁ, Š.: *Strojírenská metrologie*. Ostrava, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. S.112.ISBN 80-248-0671-1.
- [16] Internet, TESTO s.r.o. *Testo 922 / testo 925*. [online]. [cit. 2013-02-03].
Dostupné z URL: http://www.testoservis.cz/data/pdf/922_925.pdf
- [17] Internet, WENZEL Präzision GmbH, *Wenzel LH 54*. [online]. [cit. 2013-01-28].
Dostupné z URL:
http://www.wenzel-group.com/praezision/en/products/cmm/lh-54.php?we_ID=754
- [18] DRASLÍK, František; a kolektiv. *Strojnická příručka, svazek 1*, Verlag Dashöfer, nakladatelství, s.r.o., Praha 1, 2003
- [19] Ceník nástrojů pro Formplast Purkert s.r.o. aktuální do 30.3.2013 není na přání
prodejců náradí přiložen.
- [20] SECO TOOLS CZ, s.r.o. *Obrábění nerezových ocelí, Příručka pro technology*, příloha MM-Průmyslové spektrum, prosinec 2012, 19s.